SISTEM DAN INSTALASI REFRIGERASI 1

DIREKORAT PEMBINAAN SMK
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
2013

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut.

Sesuai dengan konsep Kurikulum 2013, buku ini disusun mengacu pada pembelajaran Sistem dan Instalasi Refrigerasi, sehingga setiap pengetahuan yang diajarkan, pembelajarannya harus dilanjutkan sampai membuat siswa terampil dalam menyajikan pengetahuan yang dikuasainya secara konkret dan abstrak, dan bersikap sebagai makhluk yang mensyukuri anugerah alam semesta yang dikaruniakan kepadanya melalui pemanfaatan yang bertanggung jawab.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan.

Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam Kurikulum 2013, siswa diberanikan untuk mencari dari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Sebagai edisi pertama, buku ini sangat terbuka dan terus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan. Untuk itu, kami mengundang para pembaca memberikan kritik, saran dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya. Atas kontribusi tersebut, kami ucapkan terima kasih. Mudah-mudahan kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan dalam rangka mempersiapkan generasi emas.

Jakarta, Desember 2013

Direktur Pembinaan SMK

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

I. PENGANTAR SEPUTAR BUKU BAHAN AJAR

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul Sistem dan Instalasi Refrigerasi ini merupakan paket keahlian yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada mata pelajaran Sistem dan Instalasi refrigerasi, untuk SMK Paket Keahlian Teknik Pendingin dan Tata Udara yang diberikan pada kelas XI.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam Kurikulum 2013, siswa diberanikan untuk mencari dari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Buku siswa ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan Kurikulum 2013. Buku ini merupakan ―dokumen hidup” yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang refrigerasi 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang refrigerasi
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam pekerjaan di bidang refrigerasi. 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan refrigerasi. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam dalam melakukan pekerjaan di bidang refrigerasi
3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menjelaskan elemen dasar dan prinsip refrigerasi 3.2. Menjelaskan sistem dan komponen utama unit refrigerasi domestik 3.3. Menjelaskan refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada unit refrijerasi 3.4. Menafsirkan gambar kerja instalasi pemipaan refrigerasi 3.5. Menjelaskan pekerjaan dasar instalasi pemipaan refrigerasi
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung	4.1. Membandingkan sistem refrigerasi 4.2. Memeriksa fungsi dan performansi komponen utama sistem refrigerasi domestik 4.3. Memeriksa karakteristik termodinamik refrijeran dan oli refrijeran yang digunakan pada unit refrijerasi 4.4. Menyajikan gambar instalasi pemipaan refrigerasi domestik 4.5. Melaksanakan pekerjaan dasar pemipaan

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
	refrigerasi

C. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah (saintifik). Langkah-langkah pendekatan ilmiah (*scientific appoach*) dalam proses pembelajaran meliputi menggali informasi melaui pengamatan, bertanya, percobaan, kemudian mengolah data atau informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, kemudian menyimpulkan, dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melalui buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sistem refrigerasi, instalasi dan aplikasinya. Langkah awal untuk mempelajari sistem dan instalasi refrigerasi adalah dengan melakukan pengamatan (observasi)**.** Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistematis merupakan kegiatan pembelajaran yang sangat aktif, inovatif, kreatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai pertanyaan lanjutan akan muncul. Nah, dengan melakukan penyelidikan lanjutan, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati

Dengan keterampilan ini, kalian dapat mengetahui bagaimana mengumpulkan fakta dan menghubungkan fakta-fakta untuk membuat suatu penafsiran atau kesimpulan. Keterampilan ini juga merupakan keterampilan belajar sepanjang hayat yang dapat digunakan bukan saja untuk mempelajari berbagai macam ilmu, tetapi juga dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Pengamatan

Melibatkan pancaindra, menggunakan mata untuk membaca fenomena, telinga untuk mendengarkan suatu informasi audio, termasuk melakukan pengukuran dengan alat ukur yang sesuai. Pengamatan dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi.

Membuat Inferensi

Merumuskan penjelasan berdasarkan pengamatan. Penjelasan ini digunakan untuk menemukan pola-pola atau hubungan-hubungan antar aspek yang diamati, serta membuat prediksi, atau kesimpulan.

Mengomunikasikan

Mengomunikasikan hasil penyelidikan baik lisan maupun tulisan. Hal yang dikomunikasikan termasuk data yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, bagan, dan gambar yang relevan.

Buku bahan ajar –Sistem dan Instalasi Refrigerasi ini I, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas XI, semester ganjil, mencakupi kompetensi dasar 3.1 dan 4.1 sampai dengan 3.5. dan 4.5, yang terbagi menjadi lima kegiatan belajar, yaitu (1) menguraikan elemen dasar dan prinsip refrigerasi, (2) Menguraikan komponen utama sistem refrigerasi domestik, (3) Menguraikan refrigeran dan oli refrigeran, (4) Melakukan pekerjaan pemipaan refrigerasi.

II. PEMBELAJARAN

A. Kegiatan Belajar 1

Menguraikan Elemen Dasar dan prinsip Refrigerasi

Refrigerasi adalah bidang beragam dan mencakup sejumlah besar proses mulai dari pendinginan ruang untuk kenyamanan tubuh (tata udara) hingga ke pendinginan ruang untuk pengawetan makanan dan produk lain. Oleh karena itu, refrigerasi secara keseluruhan akan mempunyai kerumitan atau komplikasi tersendiri, karena teori-teori tentang termodinamika, mekanika fluida, dan perpindahan panas selalu muncul dalam setiap proses sistem refrigerasi dan aplikasinya. Untuk pemahaman yang baik tentang pengoperasian sistem refrigerasi dan aplikasinya, pengetahuan luas tentang topik tersebut sangat diperlukan .

Ketika seorang mekanik atau teknisi melakukan analisis sistem pendinginan dan penerapannya, ia harus berurusan dengan beberapa aspek dasar, yang pertama tergantung pada jenis masalah yang sedang dipelajari, mungkin termodinamika, mekanika fluida, atau perpindahan panas. Dalam kaitannya dengan ini, ada kebutuhan untuk memahami beberapa definisi dan konsep dasar sebelum beralih topik ke sistem pendingin dan aplikasinya secara mendalam. Misalnya sistem satuan baik sistem internasional maupun sistem imperial, menjadi sangat penting dalam melakukan analisis sistem refrigerasi dan aplikasinya. Harus bisa memastikan bahwa satuan yang digunakan konsisten untuk mencapai hasil yang benar. Ini berarti bahwa ada beberapa faktor pengantar yang harus dipertimbangkan untuk menghindari kesalahan di dalamnya.

Kegiatan belajar ini dimulai dari definisi mendasar, kuantitas fisik, satuan, dimensi, dan keterkaitannya. kemudian dilanjutkan ke topik dasar termodinamika, mekanika fluida, dan perpindahan panas serta berbagai prinsip refrigerasi.

Tugas 1.1: Cuaca Panas dan Cuaca Dingin

Pada hakekatnya manusia diciptakan oleh Sang Yang Maha Kuasa, untuk memelihara alam sekitarnya agar dapat bermanfaat bagi dirinya. Manusia tidak diharapkan merusak alam sekitranya. Manusia harus berjuang keras untuk mengatasi keberagaman iklim dan cuaca. Terkait dengan kondisi iklim dan cuaca, pernahkan kalian merasa kedinginan yang luar biasa atau kepanasan yang luar biasa. Apa yang kalian lakukan ketika merasakan kedinginan atau kepanasan?. Apa kalian hanya menerima dan pasrah saja terhadap kondisi lingkunganmu? Pada hakekatnya manusia dianugerahi akal dan pikiran agar mau menggunakan akal dan pikirannya untuk membawa manfaat yang sebesar-besarnya bagi sesamanya dan bagi lingkungannya.

Perhatikan dan amati peristiwa berikut ini:



Gambar 1.1 Mengatasi Cuaca Panas

Diskusikan dengan temanmu, bagaimana upaya yang dilakukan oleh orang-orang untuk mengatasi cuaca panas. Gambar 1.1 dapat dijadikan pijakan awal berfikir kalian. Coba gali gagasan kreatifitas kalian, bagaimana cara yang lebih

efektif untuk mengatasi cuaca panas. Jika mengalami kesulitan, kamu dapat mencari informasi dari sumber-sumber informasi lain, seperti buku teks, majalah atau di internet! Presentasikan hasil kegiatanmu di kelas dan bergantian dengan kelompok yang lain! Buatlah kesimpulan dari hasil kegiatan itu dengan berdiskusi bersama teman-temanmu!

1. Penerapan Sistem Satuan

Termodinika, mekanika fluida, dan perpindahan panas antar benda, berkaitan dengan fisik dan bentuk benda. Oleh karena itu, sebelum kita memperdalam topik dasar termodinamika, mekanika fluida, dan perpindahan panas pada suatu zat yang dulu pernah kalian pelajari dalam mata pelajaran IPA atau fisika, sebaiknya kalian mendalami terlebih dahulu tentang satuan-satuan standar yang digunakan yang berlaku secara universal agar dapat menerapkannya secara benar. Untuk ilmu pengetahuan dan teknologi, satuan dapat dianggap sebagai mata uang. Dengan mata uang kalian dapat melakukan transaksi apa saja, kapan saja, dan di mana saja. Demikian juga dengan satuan. Ada dua sistem satuan yang dapat digunakan, yaitu (1) Sistem Internasional, yang lazim disebut sebagai satuan SI, dan (2) Sistem Imperial (Inggris) yang merupakan sistem satuan yang berlaku di Eropa. Sistem satuan SI paling banyak digunakan di seluruh dunia, dan buku ini, menerapkan kedua sistem satuan tersebut.

Tugas 1.2: Standarisasi Satuan

Ada tiga sifat penting dalam termodinamika yang harus dipahami dengan benar, yaitu: (1) masa, (2) panjang, dan (3) gaya. Begitu pentingkah dalam mengarungi kehidupan ini kita perlu membuat standarisasi satuan untuk masa, panjang, dan gaya? Untuk menambah wawasanmu, lakukan pengamatan pada berbagai peralatan rumah tangga yang terkait dengan sistem refrigerasi dan tata udara. Catat data teknis yang tertera pada plat nama peralatan tersebut.

Diskusikan dengan teman sekelompokmu. Coba gali gagasan kreatif kalian, dan kemukakan pendapat kalian. Jika mengalami kesulitan, kalian dapat mencari informasi dari sumber-sumber informasi lain, seperti buku teks, majalah atau di

internet! Presentasi hasilnya di depan kelas. Dalam paparan jelaskan mengapa kita perlu mengetahui sifat-sifat tersebut!

Masa

Massa didefinisikan sebagai jumlah materi pembentuk bodi dengan bentuk dan ukuran terbatas. Di dalam sistem satuan SI, satuan dasar massa adalah kilogram (kg) dan dalam sistem satuan Imperial masa diukur dalam satuan pound (lb). Satuan dasar waktu untuk kedua sistem adalah sama yaitu detik (dt).



Gambar 1.2 Masa Tubuh

Berikut adalah hubungan antara kedua sistem tersebut:

1kg = 2,2046 lb atau 1 lb = 0,4536 kg

1 kg/s = 7936,6 lb/h = 2,2046 lb/s

1 lb/h = 0,000126 kg/s

1 lb/s = 0,4536 kg/s

Dalam satuan SI, satuan dasar panjang adalah meter (m), dan dalam sistem satuan imperial, satuan dasar panjang adalah kaki (ft). Satuan tambahan dalam satuan SI adalah cm, dan dalam satua imperial adalah inci. Berikut adalah hubungan antara kedua sistem tersebut:

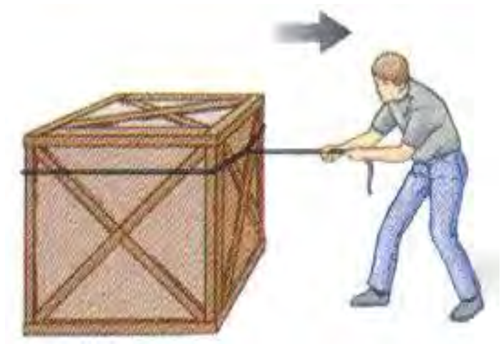
1 m = 3,2808 ft = 39,370 in

1 ft = 0.3048 m

1 in = 2,54 cm = 0.0254 m

Gaya

Gaya adalah jenis tindakan yang dapat membawa benda untuk beristirahat atau berubah arah gerakan (misalnya, gaya tolak atau gaya tarik). Satuan dasar gaya adalah newton (N), di mana 1N = 0,22481 lbf atau 1 lbf = 4.448 N.



Gambar 1.3 Gaya Tarik

Empat aspek yang telah dibahas di atas (yakni: massa, waktu, panjang, dan gaya) memiliki saling keterkaitan seperti yang dinyatakan dalam hukum kedua Newton tentang gerak. Hukum Newton kedua menyatakan bahwa gaya (F) yang bekerja pada benda adalah sebanding dengan massa (m) dan percepatan (a) dalam arah gaya, seperti yang diberikan dalam Persamaan berikut ini:

$$F = (m)(a) \qquad (1.1)$$

Dalam hal ini F = gaya dalam Newton (N)
m = masa dalam kilogram (kg)
a = akselerasi dalam meter per detik (m/s^2)

Persamaan 1.1 menunjukkan gaya yang dibutuhkan untuk mempercepat massa 1 kg pada tingkat percepatan 1 m/s^2 sebagai 1N = 1 kgm/s^2.

Tentunya kalian masih ingat tentang Gaya grafitasi. Gaya grafitasi berkaitan dengan gaya tarik bumi. Gaya grafitasi yang dikenakan pada suatu benda dapat ditentukan dengan mensubtitusikan gaya grafitasi lokal (g) ke dalam faktor akselerasi (a) dalam persamaan 1.1. Jadi, bila digunakan untuk menghitung gaya grafitasi, maka persamaan 1.1 dapat diubah menjadi:

$$F = (m)(g) \qquad (1.2)$$

Contoh 1.1 Tentukan besarnya gaya grafitasi yang dialami suatu benda yang memiliki masa sebesar 25 kg.

Solusi Menggunakan persamaan 1.2, didapat

F = (25 kg)(9,807 N/kg) = 245,18 N

Penting untuk dicatat bahwa nilai percepatan gravitasi bumi adalah 9,80665 m/s^2 untuk sistem SI dan 32,174 ft/s^2 untuk sistem satuan imperial, dan itu menunjukkan bahwa benda jatuh bebas menuju permukaan bumi tunduk pada aksi gravitasi bumi.

Gaya dapat dinyatakan sebagai suatu dorongan atau tarikan pada suatu benda. Gaya adalah sesuatu yang memiliki kecenderungan untuk membuat benda bergerak, membuat benda yang sedang bergerak menjadi berhenti, atau untuk mengubah arah gerakan benda. Gaya juga dapat merubah bentuk atau ukuran benda. Sehingga suatu benda dapat dilipat, dibengkok, dan dipampatkan atau dikompresikan.

Satuan gaya adalah newton. Dalam hal ini, newton dinyatakan sebagai gaya,yang bila dikenakan pada suatu benda yang memiliki masa sebesar 1 kg, akan memberikan akselerasi sebesar 1 m/s setiap detik. Bila dinyatakan dalam persamaan matematika adalah

Contoh 1.2 Suatu gaya yang dikenakan pada suatu benda yang memiliki masa 15 kg, menimbulkan akselerasi benda sebesar 10 m/s^2 searah dengan arah gaya. Tetntukan besarnya gaya tersebut?

Solusi Menggunakan formula 1.11, diperoleh

$F = (15\ kg)(10\ m/s^2) = 150\ N$

Volume Spesifik dan Masa Jenis (density)

Volume spesifik (ν) adalah volume per satuan massa suatu zat, biasanya dinyatakan dalam meter kubik per kilogram (m^3/kg) dalam sistem SI dan dalam kaki kubik per pon (ft^3/lbm) dalam Sistem satuan imperial.

Masa jenis (ρ) suatu zat didefinisikan sebagai massa per satuan volume dan karena itu merupakan kebalikan dari volume spesifik:

$$\rho = 1/\nu \qquad (1.3)$$

Satuan volume spesifik adalah kg/m^3 dalam sistem SI dan lb/ft^3 dalam Sistem satuan imperial. Volume spesifik juga didefinisikan sebagai volume per satuan massa, dan masa jenis (density) sebagai massa per satuan volume, yaitu;

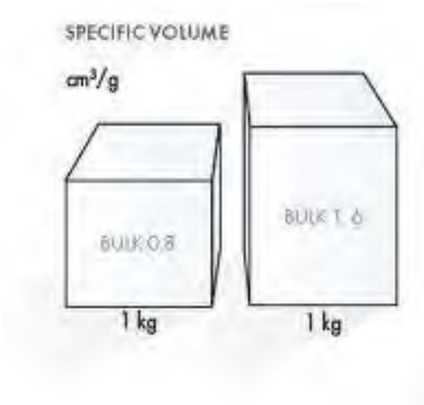
$$\nu = V/m \qquad (1.4)$$

$$\rho = m/V \qquad (1.5)$$

Kedua volume spesifik (ν) dan masa jenis (ρ) adalah properti intensif dan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan. Hubungan keduanya adalah:

1 kg/m^3 = 0,06243 lbm/ft^3 atau 1 lbm/ft^3 = 16,018 kg/m^3

1 slug/ft^3 = 515,379 kg/m^3



Gambar 1.4 Ilustrasi Spesifik Volume

Dalam bidang Refrijerasi dan Tata Udara, ukuran utama untuk menentukan kuantitas suatu benda adalah masa (m), biasanya dinyatakan dalam gram (g) atau kilogram (kg), volume (v), biasanya diekspresikan dalam centimetre kubik (cm^3)

atau meter kubik (m^3). Satu meter kubik sama dengan 1.000.000 centimeter kubik. Ukuran lain dari volume fluida adalah liter. Satu liter sama dengan 1/1000 meter kubik.

Contoh 1.3 Udara mempunyai berat jenis 0,0807 lb/ft^3. Tentukan volume spesifiknya?

Solusi $\upsilon = 1/\rho = \dfrac{1}{0{,}0807\dfrac{lb}{ft^3}} = 12{,}4\dfrac{ft^3}{lb}$

Contoh 1.4 Udara mempunyai berat jenis 1,293 kg/m^3. Tentukan volume spesifiknya?

Solusi $\upsilon = 1/\rho = \dfrac{1}{01{,}293\dfrac{kg}{m^3}} = 0{,}773\dfrac{m^3}{kg}$

Akan dapat diketahui pada pembahasan berikutnya, bahwa volume spesifik dan berat atau masa jenis suatu benda tidak konstan tetapi bervariasi terhadap suhu benda. Tetapi untuk keperluan perhitungan praktis dalam bidang refrijerasi, berat jenis air adalah 1000 kg/m^3. Ini merupakan harga maksimum berat jenis air pada suhu 4^oC. Berat jenis air turun menjadi 958 kg/m^3 pada suhu 100^oC, yakni titik didih air pada tekanan atmosfir. Untuk mengetahui nilai yang lebih akurat lagi, silahkan mencermati tabel Uap yang ada dalam buku teks yang relevan. Di dalam bahan ajar diberikan Tabel 1.1 untuk memperlihatkan masa jenis dan spesifik grafitasi beberapa gas.

Tabel 1.1 Masa Jenis dan grafitasi Spesifik beberapa jenis Gas

Nama Benda	Masa Jenis		Grafitasi Spesifik
	Lb/ft^3	Kg/m^3	
Udara	0,0807	1,293	1
Amonia	0,482	0,769	0,596
CO2	0,1234	1,98	1,53
Hidrogen	0,0056	0,0896	0,069
Oksigen	0,0892	1,428	1,105

Contoh 1.5 Sebuah fan menghembuskan udara kering pada suhu 32°F, sebesar 3000 ft^3 per menit (cfm) pada tekanan 1 atmosfir. Hitung quantitas udara yang disirkulasikan setiap jam dalam satuan pound dan kilogram?

Solusi

a. Dari tabel 1.1 diperoleh ρ = 0,087 lb/ft^3.

Jadi $$Q = 3000\frac{ft^3}{\min} x 0{,}0807\frac{lb}{ft^3} x 60\frac{\min}{hr}$$

$= 14.520$ lb/hr

b. Dari tabel 1.1 diperoleh ρ = 1,293 kg/m^3.

Jadi $$Q = 3000\frac{ft^3}{\min} x 0{,}0283\frac{m^3}{ft^3} x 1{,}293\frac{kg}{m^3} x 60\frac{\min}{hr}$$

$= 6590$ kg/hr

Masa dan Volume Zat yang Mengalir

Bila masa benda diukur dalam satuan gram (g) atau kilogram (kg), maka masa suatu zat cair yang mengalir diukur dalam satuan gram per detik (g/s) atau dalam kilogram per detik (kg/s). Satuan lain yang dapat dipakai untuk mengukur aliran suatu zat cair adalah kilogram per menit (kg/m) dan kilogram per jam (kg/h). Sama seperti masa, volume diukur dalam meter kubik (m^3) atau dalam liter (l), volume suatu zat cair yang mengalir diukur dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s) atau dalam liter per detik (l/s) atau dalam meter kubik per jam (m^3/h).

Dari persamaan (1.4) dan (1.5), dapat dibuat hubungan antara masa dan volume, aliran masa dan aliran volume sebagai berikut,

$$m = (V)(\rho) = \frac{V}{\upsilon} \qquad (1.6)$$

$$V = (m)(\upsilon) = \frac{m}{\rho} \qquad (1.7)$$

Dalam hal ini m = masa atau masa zat yang mengalir

V = volume atau volume zat yang mengalir

Contoh 1.6 Masa air yang mengalir dalam suatu pipa adalah 0,03 m^3/s. Tentukan masa air yang mengalir dalam satuan kilogram per detik (kg/s)?

Solusi Anggaplah berat jenis air adalah 1000 kg/m^3. Dengan menggunakan formula (1-5), didapatkan,

M = (0,03 m^3/s)(1000 kg/m^3) = 30 kg/s.

Contoh 1.7 Sebuah kompresor refrijerasi memompa gas amonia. Laju aliran gas amonia adalah 85 lb/min. Suhu gas amonia adalah 32^{o}F dan tekanannya 1 atm. Tentukan laju aliran gas amonia dalam satuan cfm dan dalam m^3/s.

Solusi Lihat Tabel 1.1

a. Laju aliran gas dalam cfm

$$Q = \frac{85\dfrac{lb}{\min}}{0{,}482\dfrac{lb}{ft^3}} = 176 \text{ ft}^3\text{/min (cfm)}$$

b. Laju aliran gas dalam m^3/s

$$Q = \frac{176\dfrac{ft^3}{\min}x\dfrac{1}{60}\dfrac{\min}{s}}{35{,}3\dfrac{ft^3}{m^3}(Tabel1.3)} = 0{,}0831 \text{ m}^3\text{/s}$$

Contoh 1.8 Udara yang masuk ke koil pendingin mempunyai volume spesifik sebesar 12,6 ft^3/lb. Bila blower yang digunakan dapat mensirkulasikan udara sebesar 2000 ft^3/min (cfm), tentukan berapa pound jumlah udara yang disirkulasikan oleh blower per jam?

Solusi

$$Q = \frac{2000\dfrac{ft^3}{\min}x60\dfrac{\min}{hr}}{12{,}6\dfrac{ft^3}{lb}} = 9520 \text{ lb/hr.}$$

Laju aliran massa didefinisikan sebagai massa yang mengalir per satuan waktu (kg/s dalam sistem SI dan lb/s dalam satuan imperial). Laju aliran volumetrik diberikan dalam m^3/s dalam sistem SI dan ft^3/s dalam satuan Imperial.

Ketika kita berurusan dengan cairan dan gas, tekanan menjadi salah satu komponen yang paling penting. Tekanan (P) adalah gaya (F) yang bekerja pada permukaan per satuan luas (A) dan dinyatakan dalam bar atau Pascal (Pa).

Satuan tekanan dalam SI adalah pascal, dimana tekanan 1 pascal dinyatakan sebagai gaya 1N yang bekerja pada area $1m^2$, secara matematika dituliskan sebagai berikut: 1 Pascal (Pa) = $1N/m^2$.

Satuan tekanan dalam sistem satuan imperial adalah pound gaya per kaki persegi, lbf/ft^2. Berikut adalah beberapa konversi tekanan:

1Pa = 0,020886 lbf/ft^2 = 1,4504 × 10-4 $lbf/in.^2$ = 4,015 × 10^{-3} dalam air

= 2,953 × 10^{-4} di Hg

1 $lbf/ft.^2$ = 47.88 Pa

1 $lbf/in.^2$ = 1psi = 6894.8 Pa

1bar = 105 kPa

Latihan Konversi Satuan:

1. 2,5 kg = ... lb = ... gram
2. 1,6 m = ... ft = ... inc
3. 15 psi = ... bar = ... kPa = ... kg/cm2
4. 10 m^3/s = ... ft^3/s
5. 8 kg/m^3 = ... lb/ft^3
6. 10 m/s^2 = ... ft/s^2
7. 1 bar = ... psi = ... kPa
8. 3 ft = ... m = ...cm
9. 40 ft^3/s = ... m^3/s
10. 1000 Btu/hr = ... cal

2. Pengukuran Tekanan dan Suhu Zat di dalam Sistem Tertutup

Peralatan refrigerasi dan tata udara merupakan mesin tertutup yang kedap udara luar, dan lazim disebut juga sebagai mesin penukar kalor dimana kondisi operasinya sangat tergantung pada kondisi lingkungan setempat, yakni tekanan dan suhu atmosfir. Seperti telah kalian ketahui, bahwa tekanan atmosfir di permukaan laut adalah 1 atmosfir (atm). Di mana 1 atm = 1 bar = 1 kg/cm^2. Jadi sebuah tabung kosong pada hakekatnya ia sudah memiliki tekanan sebesar 1 atm. Untuk keperluan praktis pengukuran tekanan zat yang ada di dalam suatu sistem tertutup dibedakan menjadi dua, yaitu tekanan gauge dan tekanan absolut.



Gambar 1.5 Ilustrasi Tekanan dalam Versi berbeda

Tugas 1.3 Beda Tekanan Absolut dan Tekanan Gauge

Seperti telah diketahui bersama, dalam kehidupan sehari-hari, untuk keperluan praktis pengukuran tekanan zat yang ada di dalam suatu sistem tertutup dibedakan menjadi dua, yaitu tekanan gauge yakni nilai tekanan yang diperoleh dari pengukuran tekanan menggunakan alat ukur tekanan seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 1.5 mengukur tekanan ban. Nilai tekanan ban yang ditunjukkan oleh alat ukur tekanan (gauge) disebut tekanan gauge. Disamping tekanan gauge dikenal pula tekanan absolut (tekanan teoritis) yang didapat dari hasil analisis.

Diskusikan dengan teman sekelompokmu, perbedaan antara tekanan gauge dan tekanan absolut. Presentasikan hasilnya di depan kelas.

Tekanan

Tekanan adalah gaya yang bekerja per satuan luas permukaan. Tekanan dapat dinyatakan sebagai ukuran intensitas gaya pada setiap titik permukaan yang terkena oleh gaya tersebut. Bila gaya didistribusikan ke seluruh permukaan maka besarnya tekanan pada setiap titik di permukaan yang terkena gaya tersebut adalah sama. Besarnya tekanan dapat dihitung dengan membagi gaya total dengan luas permukaan. Hubungan ini diformulasikan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A} \qquad (2.1)$$

Di mana P = Tekanan dalam satuan newton per meter persegi (N/m^2) atau pascal (Pa)

F = Gaya dalam satuan newton (N)

A = Luas permukaan dalam meter persegi (m^2)

Karena F = (m)(a), maka

$$P = \frac{(m)(a)}{A} = \frac{(m)(g)}{A} \qquad (2.2)$$

Di mana

m = masa

a = percepatan

g = grafitasi bumi

Contoh 2.1 Sebuah tanki yang lantainya berukuran (2 x 3) meter, diisi air sehingga masa air total mencapai 18.000 kg. Tentukan (a) Gaya grafitasi dalam newton yang diterima dasar tanki, (b) tekanan yang diterima dasar tanki dalam pascal?

Solusi

(a) gaya grafitasi yang diterima dasar tanki adalah

F = (18.000) kg x (9,807) N/kg = 176.526 N

(b) Luas dasar tanki adalah 6 m^2, dengan persamaan 2.14, Tekanan yang diterima dasar tangki adalah

P = 176.526 N / 6 m^2 = 29.421 N/m^2 (Pa)

Dalam sistem satuan internasional (SI unit), satuan tekanan adalah pascal (Pa) atau kilopascal (kPa). Satu pascal setara dengan satu newton per meter persegi. Ukuran tekanan lain yang masih banyak digunakan adalah bar. Di mana 1 bar setara dengan 100 kilopascal (kPa) atau 100 N/m^2. Tekanan juga dapat dinyatakan dalam istilah kolom fluida, biasanya mercury (Hg) atau air (H_2O). Bila mercury yang digunakan untuk mengukur tekanan, maka ukuran tekanan dinyatakan dalam milimeter mercury (mm.Hg), Bila air yang digunakan, maka dinyatakan dalam milimeter air (mm.H_2O).

Tekanan atmosfer

Atmosfir yang mengelilingi bumi dapat dianggap sebagai reservoir udara tekanan rendah. Beratnya memberikan tekanan yang bervariasi terhadap suhu, kelembaban, dan ketinggian. Tekanan atmosfer juga bervariasi dari waktu ke waktu di satu lokasi, karena gerakan pola cuaca. Sementara perubahan tekanan barometrik biasanya kurang dari satu-setengah inci merkuri, jadi perlunya memperhitungkannya ketika melakukan pengukuran yang teliti.

1 atmosfer standar = 1,0133 bar = 1,0133 × 105 Pa = 101,33 kPa = 0,10133 Mpa = 14,7 psi = 29,92 di Hg = 760mmHg = 760 Torr.



Gambar 1.6 Ilustrasi Tekanan Atmosfir

Pada permukaan air laut, besarnya tekanan udara atmosfir sekitar 14.7 psi (pounds per square inch). Karena ketinggiannya meningkat (sebagai contoh, jika kalian naik ke puncak gunung), maka tekanan udara atmosfir turun. Pada ketinggian 10,000 feet, tekanan udara atmosfir mencapai 10 psi (dan yang pasti, di ketinggian tersebut oksigen sangat berkurang).

Bumi kita dilingkupi oleh lapisan atmosfir atau udara mulai dari permukaan bumi hingga puluhan kilometer jaraknya dari permukaan bumi. Karena udara memiliki masa atau berat akibat adanya gaya grafitasi bumi, maka bekerjalah tekanan pada permukaan bumi, yang disebut tekanan atmosfir.

Bayangkan ada satu kolom udara yang mempunyai luas permukaan sebesar 1 m^2 terletak di atas permukaan laut hingga mencapai batas lapisan atmosfir. Masa udara yang ada dalam kolom tersebut adalah 101.325 N. Karena gaya yang ditimbulkan oleh masa udara tersebut bekerja pada luas permukaan 1 m^2, maka tekanan yang bekerja pada permukaan laut, di mana kolom udara itu berdiri adalah 101.325 N/m^2 atau Pa. Angka tersebut dijadikan patokan ukuran tekanan atmosfir atau tekanan barometer di atas permukaan laut, yakni satu atmosfir (1 atm).

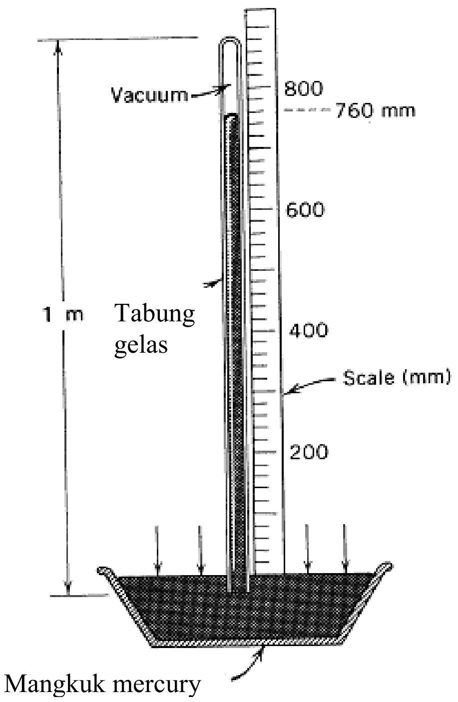
Tekanan atmosfir tidak selalu konstan tetapi bervariasi terhadap suhu, kelembaban, dan kondisi lainnya. Tekanan atmosfir juga bervariasi terhadap ketinggian (altitude), yaitu akan turun jika tempatnya semakin tinggi.

Barometer

Barometer adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur tekanan pada atmosfir bumi. Barometer sederhana untuk mengukur tekanan dalam istilah ketinggian kolom mercury dapat dibuat dengan mengisikan mercury ke dalam tabung gelas sepanjang satu meter atau 100 milimeter yang salah satu ujungnya tertutup. Kemudian tabung berisi mercury diletakkan ke dalam mangkuk yang berisi mercury seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.3.

Tekanan yang bekerja pada permukaan mercury akibat tekanan atmosfir menyebabkan mercury yang ada di dalam tabung tetap terjaga pada level tertentu. Besarnya tekanan atmosfir akan menentukan tinggi kolom mercury.

Tinggi kolom mercury di dalam tabung merupakan ukuran tekanan yang dihasilkan oleh gaya tekan udara atmosfir pada permukaan mercury (air raksa), dan dibaca dengan menggunakan skala kolom mercury (mm Hg). Tekanan normal atmosfir di atas permukaan laut sebesar 101.325 pascal yang bekerja pada permukaan mercuri, akan menyebabkan tinggi kolom mercury tetap pada tinggi 760 mm.



Gambar 1.7 Barometer mercury

Bila 760 mm Hg setara dengan 101.325 Pa, maka untuk setiap mm Hg akan setara dengan 133,32 Pa. Dari sini kita dapat membuat hubungan lain sebagai berikut:

Cm Hg = (Pa)/(1333,2)

Mm Hg = (Pa)/(133,32)

Pa = (cm Hg)(1333,2)

Pa = (mm Hg)(133,32)

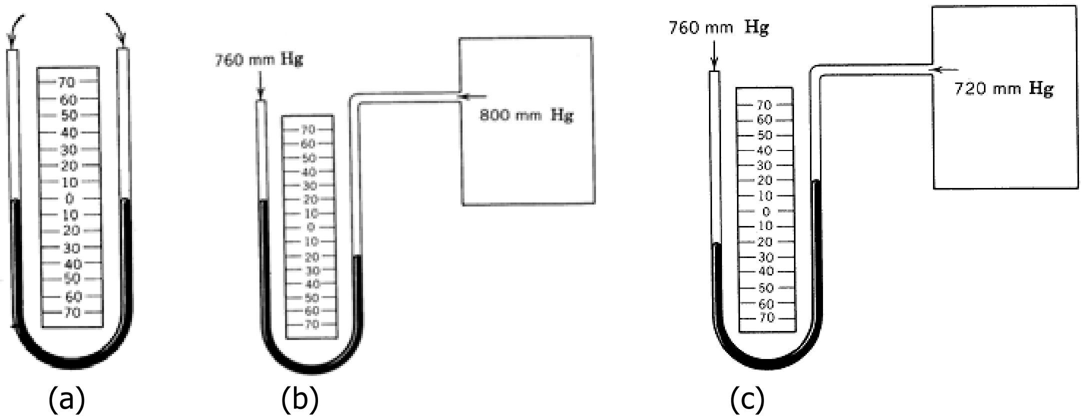
Contoh 2.2 Sebuah barometer mercury membaca 764 mm Hg. Tentukan tekanan atmosfir yang menyebabkannya dalam Pa?

Solusi menggunakan persamaan 2.16, tekanan atmosfir adalah

(764 mm Hg)(133,32) = 101.856 Pa = 101,856 kPa.

Manometer

Manometer adalah salah satu jenis meter tekanan (pressure gauge) yang menggunakan kolom mercury untuk mengukur tekanan suatu zat (cair atau gas) yang ada di dalam suatu tabung. Konstruksi manometer mercury ayng sederhana diperlihakan dalam Gambar 1.8.



Gambar 1.8. (a) Manometer Tabung-U.
Karena kedua ujung kaki manometer terbuka, maka akan menerima tekanan atmosfir sama pada kedua sisinya, sehingga level kolom mercury sama tinggi

Gambar 1.8 (b) Manometer mercury sederhana.
Pada salah satu ujung kaki manometer terhubung ke tabung yang bertekanan 800 mm Hg. Tekanan tabung menggeser kolom mercury naik sebesar 40 mm Hg.

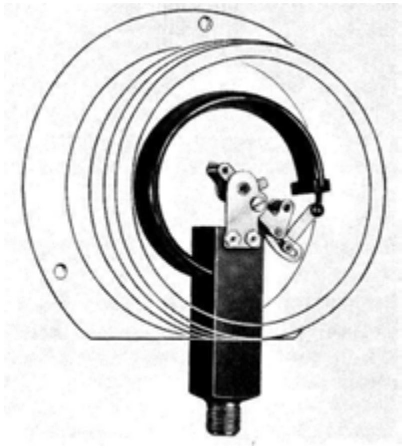
Gambar 1.8 (c) Manometer mercury sederhana.
Pada salah satu ujung kaki manometer terhubung ke tabung yang bertekanan 720 mm Hg. Tekanan atmosfir menggeser kolom mercury turun sebesar 40 mm Hg.

Tabung Bourdon

Karena konstruksi manometer yang tidak praktis, memerlukan tabung panjang, untuk alasan praktis manometer tidak digunakan untuk mengukur tekanan yang lebih besar dari satu atmosfir. Sebagai gantinya, untuk mengukur tekanan yang lebih besar dari satu atmosfir digunakan Tabung Bourdon.

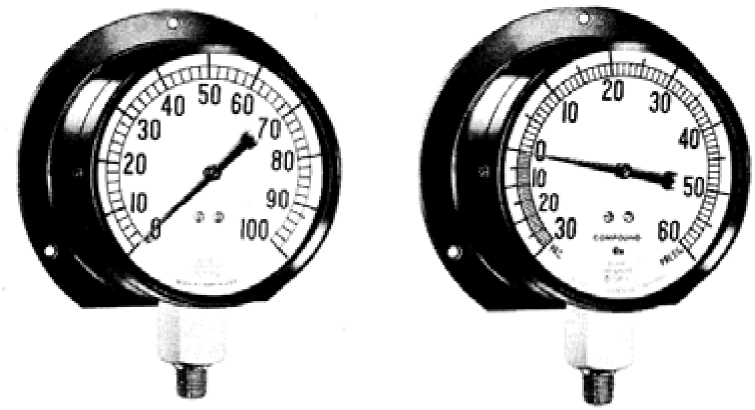
Seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.9 Tipikal Tabung Bourdon adalah melengkung cenderung melingkar, bentuk elip, terbuat dari metal yang cenderung bergerak lurus bila tekanan di dalam tabung naik dan kembali melengkung bila tekanan di dalam tabung turun kembali. Kemudian gerakan tabung yang

mengembang dan menyusut kembali tersebut ditransmisikan secara mekanik ke jarum penunjuk.



Gambar 1.9 Tipikal Tabung Bourdon

Meter tekanan yang terbuat dari tabung Bourdon sangat kuat dan dapat mengukur tekanan di atas dan di bawah tekanan atmosfir. Tabung Bourdon yang digunakan untuk mengukur tekanan di atas tekanan atmosfir lazim disebut sebagai pressure gauge. (Gambar 1.10 a). Tabung Bourdon yang didesain untuk mengukur tekanan di bawah tekanan atmosfir disebut vacuum gauge. Dan bila digunakan untuk dapat mengukur kedua jenis skala, disebut compound gauge. (Gambar 1.10 b)



Gambar 1.10 High Pressure Gauge dan Coumpond Gauge

Tekanan Gauge

Tekanan gauge adalah nilai tekanan yang diperoleh dari hasil pengukuran tekanan menggunakan meter tekanan (pressure gauge). Nilai tekanan atmosfer yang diukur dengan pressure gauge dengan satuan kPa lazim dinyatakan sebagai kPa (gauge). Tekanan atmosfer berfungsi sebagai referensi untuk menentukan tekanan lainnya. Pengukuran tekanan dapat bernilai positif atau negatif, tergantung pada tingkat di atas atau di bawah tingkat tekanan atmosfer. Pada tingkat tekanan atmosfer, pengukur tekanan menjadi nol.

Tekanan Mutlak (Absolut)

Tingkat referensi yang berbeda digunakan untuk mendapatkan nilai tekanan absolut. Tekanan absolut dapat berupa tekanan dasar untuk pengukuran vakum penuh, yang dinyatakan dalam kPa absolut. Tekanan absolut merupakan jumlah dari tekanan gauge (positif atau negatif) dan tekanan atmosfer, yang diekspresikan sebagai berikut:

kPa (gauge) + tekanan atmosfer = kPa (absolut) (2.3)

Misalnya, untuk mendapatkan tekanan absolut, cukup menambahkan nilai tekanan atmosfer di permukaan laut (101,33 kPa =1 bar = 15 psi = 1 kg/cm^2) ke nilai tekanan yang diperoleh dari pengukuran dengan pressure gauge. Tekanan absolut adalah tekanan yang paling umum digunakan dalam analisa termodinamika.

Vacuum

Vacuum adalah kondisi tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer dan hanya terjadi pada sistem tertutup, kecuali di luar angkasa. Hal ini juga disebut sebagai tekanan negatif dari pressure gauge. Sebagai contoh kondisi vakum dapat dihasilkan oleh kegiatan mengevakuasi udara dari sebuah sistem tertutup. Vacuum biasanya dibagi menjadi empat tingkatan: (i) vakum rendah, mewakili tekanan di atas 1 Torr mutlak (dihasilkan oleh pompa mekanik, dengan aliran kental), (ii) vakum menengah bervariasi antara 1 dan 10^{-3} Torr absolut (dihasilkan oleh pompa mekanikal; dengan aliran dalam masa transisi antara kental dan molekuler), dan (iii) vakum tinggi berkisar antara 10^{-3} dan 10^{-6} Torr absolut (digunakan ejector

nonmechanical atau pompa kriogenik, aliran dalam wujud molekul atau Newtonian) , dan (iv) vakum sangat tinggi yang mewakili tekanan absolut di bawah 10^{-6} Torr (terutama untuk aplikasi laboratorium dan simulasi ruang angkasa).

Sejumlah instrumen telah tersedia di pasaran untuk mengukur tekanan fluida (gas atau cair) dan nilai vakum dalam sebuah sistem tertutup dan membutuhkan tekanan fluida menjadi stabil untuk jangka waktu tertentu. Dalam prakteknya, jenis yang paling umum dari instrumen tersebut adalah sebagai berikut:

- Absolute pressure gauge (barometer).
- Mercury U-tube manometer.
- Bourdon gauge.
- McLeod gauge..

Di antara instrumen tersebut, hanya Bourdon gauge yang banyak digunakan pada sistem refrigerasi. Disamping itu, telah tersedia juga pressure transduser, yang beroperasi berdasarkan efek kapasitansi, perubahan tekanan, efek tegangan dalam kristal piezoelektrik, dan sifat magnetik.

Suhu

Suhu merupakan indikasi adanya energi panas yang tersimpan dalam suatu zat. Dengan kata lain, kita bisa mengidentifikasi panas dan dingin dengan konsep suhu. Suhu suatu zat dapat dinyatakan baik dalam satuan relatif atau absolut. Dua skala suhu yang paling umum adalah Celsius (^{O}C) dan Fahrenheit (^{O}F). Skala Celsius digunakan dalam satuan SI dan skala Fahrenheit digunakan dalam satuan sistem imperial. Ada juga dua skala lainnya, yaitu skala Kelvin (K) dan skala Rankine (R) yang kadang-kadang digunakan dalam aplikasi termodinamika.

Kelvin adalah satuan pengukuran suhu, nol Kelvin (0 K) adalah nol mutlak dan sama dengan -273,15 ^{o}C. Misalnya, saat suhu dari suatu produk turun menjadi -273,15 ^{o}C (atau 0 K), dikenal sebagai nol mutlak, zat tersebut tidak mengandung energi panas dan semua pergerakan molekul berhenti.

Suhu termasuk salah satu sifat yang dimiliki oleh suatu zat atau benda. Suhu merupakan ukuran intensitas atau level dari tekanan thermis yang dimiliki oleh suatu benda. Suhu tinggi menunjukkan adanya tekanan thermis pada level yang tinggi pula.

Sebaliknya, suhu rendah menunjukkan adanya tekanan thermis yang rendah pada benda tersebut. Pada kondisi itu, kita menyebut benda itu mengalami pendinginan.

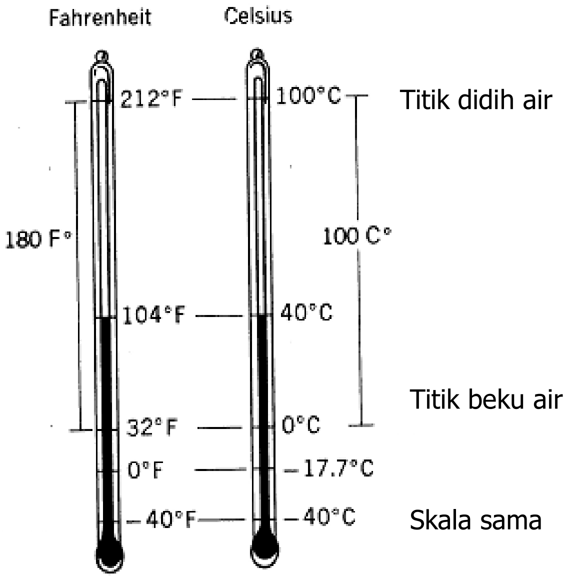
Kini semakin jelaslah, bahwa nilai suhu benda merupakan indek dari kecepatan gerak molekul yang ada pada benda tersebut. Menurut teori kinetik, bila penurunan energi internal pada suatu benda berlangsung terus-menerus sehingga nilai energi kinetik internal turun hingga mencapai *zero* atau nol, maka suhu benda dinyatakan turun ke nilai nol absolut (absolute zero), yaitu sebesar – 273,15^{o}C, dan pergerakan molekul benda akan berhenti total.

Instrumen untuk mengukur suhu disebut Thermometer. Pada umumnya thermometer beroperasi dengan memanfaatkan sifat fisik yang dimiliki oleh zat cair, yaitu akan mengambang atau menyusut jika suhunya naikatau turun. Karena suhu titik bekunya rendah dan memiliki koefisien muai konstan, maka alcohol dan mercury sering digunakan pada pembuatan thermometer. Thermometer mercury lebih akurat dibandingkan dengan thermometer alkohol, karena mercury memiliki koefisien muai yang lebih konstan pada rentang yang lebih besar dibandingkan alkohol.

Skala suhu yang lazim digunakan hingga saat ini adalah skala Celcius dan Skala Fahrenheit. Titik suhu di mana air membeku pada tekanan barometer standar atau tekanan atmosfir digunakan sebagai titik nol pada skala Celcius. Dan titik suhu di mana air menguap pada tekanan atmosfir digunakan sebagai titik 100 pada skala Celcius. Kemudian jarak antara titik nol dan titik 100 dibagi menjadi 100 bagian yang sama dan disebut sebagai derajad. Sehingga perbedaan antara titik beku dan titik uap air pada skala Celcius adalah 100 derajad.

Sama seperti pada skala Celcius, Skala Fahrenheit juga menggunakan dua titik pengukuran sebagai ukuran standar, yaitu titik beku dan titik uap air pada tekanan atmosfir standar. Pada skala Fahrnheit, titik beku air ditetapkan pada titik 32 dan titik uap air ditetapkan pada titik 212. Kemudian jarak antara kedua titik tersebut rata menjadi 180 bagian yang sama.

Gambar 2.6 memperlihatkan dua skala suhu yang bersisihan untuk memudahkan membandingkannya. Harap dicacat, bahwa 100 derajad Celcius sama dengan 180 derajad Fahrenheit. Jadi 1 ^{o}C = 1,8 ^{o}F. Kadangkala, pada prakteknya diperlukan konversi atau perubahan dari satu skala ke skala lainnya. Berikut ini diberikan contoh praktisnya.



Gambar 1.11 Perbandingan Skala Celcius dan Fahrenheit

Contoh:2.4 Tentukan nilai ukur dalam skala Celcius bila diketahui nilai ukur dalam skala Fahrenheit adalah +14 ^{o}F.

Solusi: Ingat, bahwa +14 ^{o}F, adalah 18 derajad Fahrenheit (32-14) di bawah titik beku air. Setiap derajad Fahrenheit sama dengan 1/1,8 derajad Celcius, dan 18/1,8 = 10 derajad Celcius di bawah titik beku air. Jadi +14 ^{o}F = -10 ^{o}C.

Contoh 2.5 Tentukan nilai ukur dalam skala Fahrenheit bila diketahui nilai ukur dalam skala Celcius adalah +40 ^{o}C.

Solusi 40 ^{o}C adalah 40 derajad Celcius di atas titik beku air dan setiap 1 derajad Celcius sama dengan 1,8 derajad Fahrenheit.

40 x 1,8 = 72 derajad Fahrenheit di atas titik beku air. Tetapi karena titik beku air pada skala Fahrenheit adalah 32 ^{o}F, maka nilai ukur sebenarnya pada skala fahrenheit adalah 72 + 32 = 104 ^{o}F.

Contoh di atas dipresentasikan sebagai dasar rasionalisasi proses konversi suhu. Selanjutnya, untuk keperluan praktis, dapat digunakan formula sebagai berikut:

Konversi skala Fahrenheit ke Celcius

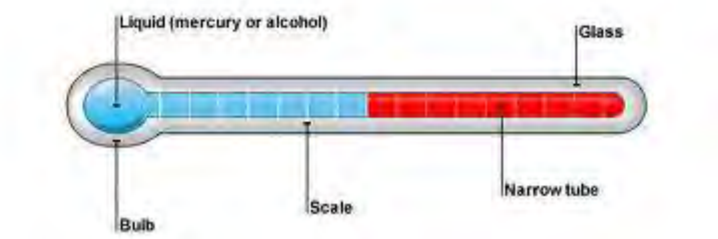
$$C = \frac{F - 32}{1,8} \qquad (2.4)$$

Konversi skala Celcius ke Fahrenheit

$$F = 1,8C + 32 \qquad (2.5)$$

Suhu dapat diukur dengan berbagai cara melalui alat ukur suhu. Secara umum, instrumen berikut lazim digunakan:

• **Liquid-in-glass thermometers**. Dalam termometer ini cairan mengembang ketika menyerap panas, sehingga meningkatkan suhu. Penting untuk dicatat bahwa dalam prakteknya semua termometer merkuri hanya bekerja pada rentang suhu tertentu. Sebagai contoh, merkuri menjadi padat pada -38,8 ^{o}C dan sifat-sifatnya berubah secara dramatis .



Gambar 1.12 Liquid-in-glass thermometers

• **Resistance thermometers**. Termometer ini terbuat dari resistan. Resistan yang digunakan harus yang diketahui karakteristik listriknya sehingga hubungan antara suhu dan nilai resistansi dapat diprediksi dengan tepat. Untuk aplikasi yang memerlukan akurasi yang lebih tinggi terutama untuk pengukuran suhu antara -200 dan +800 ^{o}C, mayoritas termometer tersebut terbuat dari platinum. Selain platinum, nikel (-60 ke +180 ^{o}C), dan tembaga (-30 sampai 220 ^{o}C).



Gambar 1.13 Resistance Thermometer

• **Thermocouple.** Sebuah termokopel terdiri dari dua konduktor listrik dari bahan yang berbeda dihubungkan bersama di salah satu ujung (measuring junction). Kedua ujung bebas terhubung pada instrumen ukur, misalnya, indikator, controller, atau pengkondisi sinyal, dengan referensi (cold junction). Tegangan termoelektrik yang muncul pada indikator tergantung pada bahan thermocouple dan suhu yang dirasakan oleh cold junction, seperti dapat dilihat pada Tabel 1.1. Termokopel tembaga constantan memiliki akurasi ± 1^{o}C dan sering digunakan untuk kontrol sistem refrigerasi dan aplikasi pengolahan makanan. Besi constantan termokopel dengan temperatur maksimum dari 850 ^{o}C digunakan dalam aplikasi di industri plastik. The Chromel - Alumel termokopel, dengan suhu maksimum sekitar 1100 ^{o}C, cocok untuk aplikasi pembakaran dalam oven dan tungku. Di samping itu, mungkin untuk mencapai sekitar 1600 atau 1700 ◦ C menggunakan platina dan rhodium termokopel, khususnya dalam pembuatan baja.



Gambar 1.14 Thermocouple

• **Thermistor**. Thermistor merupakan bahan semikonduktor yang mempunyai koefisien suhu negatif (negative koeficient temperatute). Thermistor biasanya digunakan untuk aplikasi dalam kisaran -100 sampai $+300^{0}$C. Gambar 1.2

menunjukkan termometer digital genggam dengan sepatu pelindung (dengan akurasi tinggi, ± 0,3 % ± 1,0 ^{0}C).



Gambar 1.15 Thermometer Digital berbasis Thermistor

3. **Sistem Termodinamika**

Ada tiga sistem termodinakik yang dapat didefinisikan sebagai berikut:

• Sistem tertutup, adalah sebuah sistem yang memiliki masa tetap, sehingga tidak ada pengurangan atau penambahan masa. Dalam beberapa buku, ia juga disebut *control mass*.

• Sistem terbuka, didefinisikan sebagai suatu sistem di mana masa diperbolehkan ditambah atau dikurangi. Hal ini juga disebut *control volume*.

• Sistem terisolasi. Ini adalah sistem tertutup yang tidak dipengaruhi oleh lingkungan sama sekali.

Proses dan Siklus

Sebuah proses dan siklus lazimnya berkaitan dengan perubahan fisik atau kimia pada sifat benda atau konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Beberapa proses dijelaskan oleh fakta bahwa satu sifat tetap konstan. Ilustrasi pada Gambar 1.16 menunjukkan pada kita perbedaan keduanya.



Gambar 1.16 Ilustrasi sebuah Proses dan Siklus

Tugas 1.4: Amati ilustrasi proses dan siklus dalam Gambar 1.16. Diskusikan dengan teman sekelompok, tentang proses dan siklus. Banyak sekali proses dan siklus yang terjadi di sekeliling kehidupan kita. Uraikan pendapatmu! Dan presentasi hasilnya di depan kelas. Dalam paparan jelaskan maknanya berikut contoh nyata yang ada di lingkungan sekitar kalian. Buatlah kesimpulan dari hasil kegiatan itu dengan berdiskusi bersama kelompok belajar lainnya.

Pemahaman tentang proses dan siklus menjadi sangat penting ketika kalian akan menganalisis proses pendinginan dan proses tata udara. Pada hakekatnya proses pendinginan merupakan proses yang berlangsung secara siklik, pada tekanan yang konstan. Awalan iso sering digunakan untuk menggambarkan proses, seperti proses isotermal (proses - suhu konstan), proses isobarik (proses - tekanan konstan), dan Proses isochoric (proses konstan volume). Sebuah proses pendinginan umumnya dinyatakan oleh kondisi atau sifat refrigeran pada awal dan akhir proses.

Siklus adalah serangkaian proses termodinamika di mana kondisi titik akhir atau sifat zat identik dengan kondisi awal. Pada pendinginan, proses yang diperlukan untuk menghasilkan efek pendinginan disusun untuk beroperasi secara siklik sehingga refrigeran dapat digunakan kembali. Kalian akan mempelajari materi belajar ini pada Kegiatan Belajar 4.

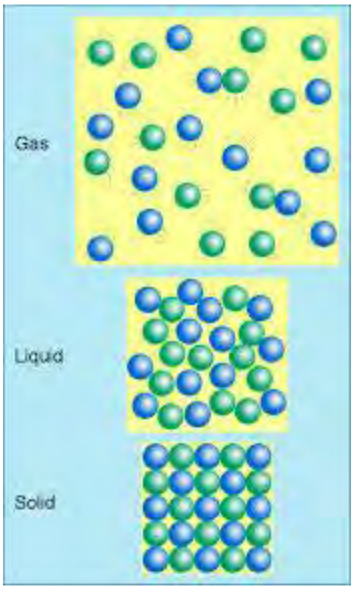
Sifat dan Kondisi Zat

Sifat zat merupakan karakteristik fisik zat yang digunakan untuk menggambarkan kondisinya. Dua sifat yang dimiliki suatu zat biasanya menentukan keadaan atau kondisi suatu zat, dan dapat untuk menentukan sifat-sifat lainnya yang terkait. Beberapa contoh adalah suhu, tekanan, entalpi, dan entropi. Sifat termodinamika diklasifikasikan sebagai sifat intensif (tidak tergantung dari massa, misalnya, tekanan, suhu, dan densitas) dan sifat ekstensif (tergantung pada massa, misalnya, massa dan total volume). Sifat ekstensif masa per satuan massa menjadi sifat intensif seperti spesifik volume. Diagram sifat zat umumnya disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.

Pada fase gas, molekul benda memiliki energi kinetik yang besar sehingga molekul dapat berberak bebas ke segala arah dan saling bertabrakan dengan molekul lainnya, sehingga mudah melepaskan diri dari ikatan atomnya.

Pada fase liquid, atom atau molekul hanya memiliki energi kinetik sekedar untuk mengatasi ikatan kimiawi, sehingga molekul tidak memiliki cukup energi untuk memisahkan diri dari ikatan atom.

Pada fase solid, ikatan kimiawi lebih besar dari energi kinetic atom. Atom terkunci pada posisi kisi-kisi crystalnya.



Gambar 1.17 Fase Benda (zat)

Hukum Konservasi Energi

Hukum Thermodinamika pertama menyatakan, bahwa jumlah energi di dalam system thermodinamik adalah konstan. Tidak ada satupun kekuatan yang dapat meningkatkan atau mengembangkannya kecuali hanya mengubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya.

Energi merupakan usaha yang tersimpan. Sebelum suatu benda memiliki energi, maka suatu usaha harus dilakukan pada benda tersebut. Usaha yang dikenakan pada benda tersebut akan mengubah gerakan, posisi, atau konfigurasi benda dan disimpan sebagai energi. Dalam banyak kasus, energi yang tersimpan sama dengan usaha yang dilakukan.

Di dalam ilmu fisika, disamping diklasifikasikan dalam bentuk energi kinetic dan potensial, maka energi dapat juga muncul dalam bentuk lain yang berbeda-beda, seperti energi mekanik, energi listrik, energi panas, energi kimiawi dan keseluruhannya siap diubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya. Misalnya, pada electric toaster, energi listrik diubah menjadi energi panas, pada motor listrik energi listrik diubah menjadi energi mekanik. Contoh lainnya, pada generator, batere akumulator, thermocouple, energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

Energi Internal

Menurut teori molekul, seluruh zat baik yang berwujud cair, gas dan padat terdiri dari jutaan partikel mikroskopik yang disebut molekul. Istilah molekul menjelaskan adanya partikel terkecil yang dimiliki oleh suatu benda yang masih memiliki sifat sama seperti bendanya. Misalnya molekul air memiliki sifat seperti air. Setiap molekul terdiri dari suatu partikel yang lebih kecil lagi yang disebut atom. Sedangkan atom itu sendiri memiliki partikel elemental yang disebut proton yang bermuatan positif, electron yang bermuatan negatif dan neutron.

Pada bab sebelumnya kita sudah mengenal adanya energi eksternal yang diakibatkan oleh adanya pergerakan dan kecepatan. Semua benda juga memiliki energi internal sebagai akibat dari adanya pergerakan dan kecepatan molekul yang ada pada benda tersebut. Adalah Sir Isaac Newton (1642-1727) yang mengemukakan filosofi baru tentang panas. Menurut konsep Newton, panas adalah energi internal yang dimiliki oleh suatu zat karena adanya pergerakan molekul atau lazim disebut sebagai energi kinetic internal dan energi potensial internal.

Molekul yang ada pada setiap benda dapat memiliki energi kinetic dan energi potensial. Energi total internal yang dapat dimiliki oleh suatu benda merupakan penjumlahan dari energi kinetic internal dan energi potensial internal. Hubungan tersebut diperlihatkan pada persamaan berikut ini

$$U = K + P \qquad (3.1)$$

Dalam hal ini U = energi total internal
K = energi kinetic internal
P = energi potensia internal

Energi Kinetik Internal

Energi kinetik internal merupakan energi dari pergerakan atau kecepatan molekul. Bila energi lain yang dikenakan pada suatu benda meningkatkan pergerakan dan kecepatan molekul, maka energi kinetik internal benda tersebut juga akan meningkat. Peningkatan energi ini akan direfleksikan melalui peningkatan suhu benda. Sebaliknya, bila energi kinetik internal mengalami penurunan atau kehilangan

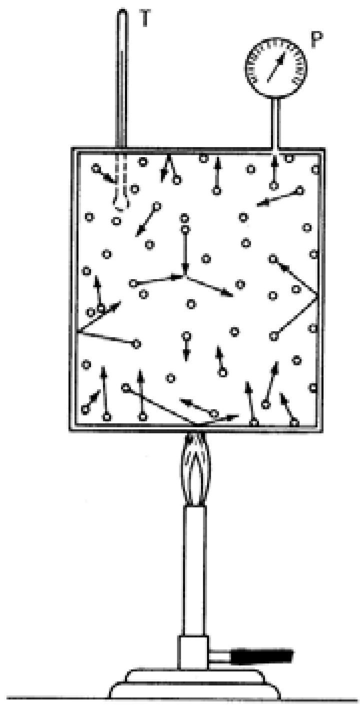
energi, maka pergerakan dan kecepatan molekul menjadi turun, demikian juga suhunya.

Pada suhu biasa, molekul dipercaya memiliki kecepatan bergerak konstan, tetapi berbeda-beda untuk setiap zat, sehingga energi yang ditimbulkan oleh pergerakan molekul tersebut tidak sama antara zat satu dengan zat lainnya.

Energi Potensial Internal

Energi potensial internal merupakan energi yang timbul akibat adanya pemisahan dalam derajad molekul. Ini merupakan energi yang dimiliki molekul sebagi hasil dari posisi molekul relatif terhadap lainnya. Semakin besar tingkat pemisahan molekularnya semakin besar pula energi potensialnya.

Bila suatu benda berkembang atau berubah status fisiknya karena adanya tambahan energi, maka terjadi penyusunan ulang terhadap susunan molekul yang membuat jarak antar molekul berubah. Energi ini tidak akan berpengaruh terhadap kecepatan gerak molekulnya.



Gambar 1.18 Diagram Skematik menggambarkan Teori Kinetik pada gas. Energi panas meningkatkan gerakan molekul. Kenaikan kecepatan molekul ditandai dengan naiknya suhu Thermometer T dan tekanan P

Table 3.1 Beberapa Satuan Turunan da ekivalennya

Panjang
1 m = 39,37 in = 3,28 ft = 1,094 yard 1 km = 0,621 mil = 3289 ft 1 yard = 0,914 m 1 ft = 30,48 cm = 0,3048 m 1 in = 2,54 cm = 25,4 mm 1 mil = 1,61 km = 5280 ft
Masa
1 kg = 2,205 lb 1 gr = 0,0353 oz 1 lb = 0,4536 kg = 453,6 gm = 16 oz = 7000 gr 1 oz = 28,35 gm 1 grain (gr) = 65 mg = 0,065 gm 1 ton = 907 kg
Luas Area
1 ft^2 = 144 inc^2 = 929 cm^2 = 0,093 m^2 1 yd^2 = 9 ft^2 = 0,836 m^2 1 m^2 = 10,76 ft^2 = 1550 in^2 = 10.000 cm^2
Volume
1 ft^3 = 1728 in^3 = 7,48 gal = 0,0283 m^3 = 28,3 liter 1 m^3 = 35,3 ft^3 = 1000 liter 1 liter = 1000 cm^3 = 1000 mliter = 61,1 in^3 1 gal = 231 in^3 = 3,785 liter
Gaya
1 lb = 4,45 newton = 454gm.f = 0,454 kg-f 1 N = 0,225 lb-f = 0,102 kg-f = 102 gm-f 1 Kn = 1000 N 1 kg-f = 9,81 N

Energi Panas dan Daya

Pada Sistem Refrijerasi dan Tata Udara, terjadi proses penambahan atau pengurangan energi panas terhadap refrijeran sebagai fluida penukar kalor dan udara ruang yang dikondisikan. Selama proses perubahan energi itu berlangsung maka akan terjadi pula perubahan wujud pada refrijeran dan udara.

Panas merupakan suatu bentuk energi. Ini merupakan fakta yang tidak dapat diingkari bahwa panas dapat diubah menjadi suatu bentuk energi lainnya demikian juga sebaliknya, bentuk energi lainnya dapat pula diubah menjadi energi panas. Secara prinsip thermodinamik, panas dinyatakan sebagai energi yang berpindah dari satu zat ke zat lainnya sebagai akibat dari adanya perbedaan suhu antara kedua zat tersebut. Pada Energi lainnya, perpindahan energi dapat berlangsung karena adanya suatu usaha yang dilakukan pada benda.

Bila suatu benda mengalami kenaikan suhu kita nyatakan bahwa energi panas telah diberikan kepada benda tersebut. Begitu sebaliknya, bila suatu benda mengalami penurunan suhu, maka kita nyatakan bahwa energi panas yang ada pada benda tersebut telah diambil. Perubahan suhu ini berimbas pada perubahan energi internal total yang dimiliki oleh molekul benda tersebut. Dalam hal Kenyatannya, penambahan dan pengurangan energi tidak selalu dibarengi dengan perubahan suhu. Dalam kondisi tertentu penambahan dan pengurangan energi internal yang dikenakan pada suatu benda justru akan merubah wujud benda tersebut. Selama proses perubahan wujud, suhu benda relatif konstan.

Dalam refrijerasi dan tata udara, kita berhubungan secara langsung dengan energi panas berikut perhitungan penambahan dan pengurangan energi panas. Seperti telah diketahui, bahwa besarnya energi yang terkandung dalam molekul benda tidak sama walaupun benda tersebut memiliki suhu yang sama. Oleh karena itu untuk keperluan pengukuran energi diperlukan acuan standard. Air digunakan sebagai acuan standard.

Energi

Energi adalah kapasitas untuk melakukan suatu pekerjaan. Energi yang disimbolkan dengan huruf w, merepresentasikan adanya kondisi pergerakan benda, posisi, atau susunan molekul yang akan dapat menghasilkan suatu pekerjaan dalam kondisi tertentu.

Satuan Energi Panas menurut standard British adalah Btu singkatan British Thermal Unit, dimana

1 Btu = jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu air setiap pound, setiap 1 ^{o}F.

Dalam sistem metrik, panas diukur dalam satuan kilo kalori (kkal),

1 kkal = jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu air setiap 1 kg, setiap 1 ^{o}C.

Dalam sistem SI, panas diukur dalam satuan kilo joule (kJ). Dimana 1 Btu = 1,055 kJ.

Daya

Daya (P) atau Power didefinisikan sebagai laju aliran energi per satuan waktu di mana pekerjaan sedang berlangsung atau kerja yang dilakukan per satuan waktu.

$$P = \frac{w}{t} = \frac{(F)(s)}{t} \qquad (3.2)$$

Menurut standar Amerika (US standard), daya dinyatakan dalam satuan Hourse Power (HP), atau (ft)(lb)/(sec), di mana,

$$1HP = 550\frac{(ft)(lb)}{\sec} = 33.000\frac{(ft)(lb)}{\min} \qquad (3.3)$$

Dalam satua internasional, satuan daya adalah watt (W) atau setara Joule per detik (J/sec).

Daya listrik juga diekspresikan dalam watt (W) atau kilowatt (kW). Konversi antara satuan HP dan watt, dinyatakan dengan formula sebagai berikut:

1 HP = 746 W = 0,746 kW

1kW = 1,34 HP

Contoh 3.1 Sebuah pompa yang digunakan dalam mesin tata udara, memompa air menuju *cooling tower* yang terletak di ketinggian 250 feet dari pompa. Laju aliran airnya sebesar 100 galon per menit. Tentukan besarnya daya dalam HP yang diperlukan untuk melekukan kerja tersebut. Bila efisiensinya 100% berapa konsumsi daya listrik yang diperlukan?

Solusi. Mengacu persamaan 3.2, dan berat jenis air 8,33 lb/gal didapatkan daya mekanik sebesar

$$P = (100)\frac{gal}{\min} x(8{,}33)\frac{lb}{gal} x(250) ft = 208.300 \frac{(ft)(lb)}{\min}$$

Substitusi dengan persamaan 3.3, didapat

$$HP = \frac{208.300 \frac{(ft)(lb)}{\min}}{\frac{330.000 \frac{(ft)(lb)}{\min}}{1HP}} = 6{,}31 \text{ HP}$$

Setara dengan daya listrik yang diperlukan, yaitu

P = 6,31 HP x 0,746 kW/HP = 4,71 kW

Ekivalen Mekanikal

Prescott Joule (1818-1889), menemukan hubungan antara energi panas dan energi mekanik. Joule telah dapat membuktikan bahwa energi mekanik (w) yang nilainya 778 ft-lb setara dengan energi panas (Q) 1 Btu. Penemuannya ini diformulasikan sebagai berikut:

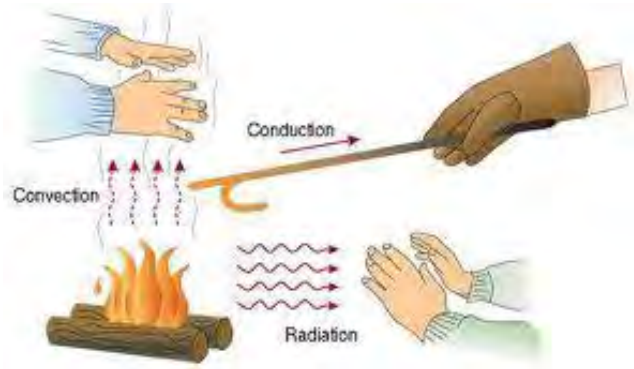
$$Q = \frac{w}{j} \qquad (3.4)$$

Di mana j adalah konstanta Joule yang besarnya

J = 778 (ft)(lb)/Btu = 4,186 (kJ)/kcal

Metoda Pemindahan Energi Panas

Energi panas dapat dipindahkan dari satu benda atau substansi ke benda lainnya. Pemindahan energi panas dapat berlangsung dalam tiga cara, yaitu (1) konduksi, (2) konveksi, dan (3) radiasi.



Gambar 1.19 Heat Transfer

Cara Konduksi

Pemindahan panas secara konduksi terjadi bila energi panas dipindahkan melalui kontak langsung antara molekul suatu benda atau antara molekul benda satu dengan molekul benda lainnya melalui suatu kontak thermal yang bagus. Dalam kasus ini, molekul yang mempunyai suhu lebih tinggi karena proses pemanasan akan memberikan energi panasnya kepada molekul yang ada di dekatnya, begitu seterusnya. Pemindahan energi panas antar molekul satu dengan molekul lainnya, berlangsung seperti halnya pergerakan bola-bola bilyard di atas meja bilyard, di mana seluruh atau sebagian energi yang dimiliki oleh satu bola yang mendapat pukulan atau gaya dorong ditransmisikan pada saat itu juga ke bola-bola lainnya.

Bila salah satu ujung suatu batang logam mendapat energi panas dari suatu sumber panas, misalnya api, sebagian energi panas yang diterima oleh ujung logam yang mendapat pemanasan akan mengalir secara konduksi dari molekul ke molekul melalui batang logam hingga ke ujung yang lebih dingin. Kecepatan gerak molekul–molekul logam akan meningkat cepat, sehingga suhu logampun akan meningkat cepat. Batang logam panas akan mengkonduksikan energi panasnya ke udara yang ada disekitarnya, sehingga udara di sekitar logam juga menjadi panas, karena pergerakan molekul-molekul udara yang semakin cepat.

Pemindahan panas yang berlangsung pada boiler atau furnace adalah cara konduksi. Dalam boiler, energi panas dari sumber api dikonduksikan ke air yang ada di dalam pipa-pipa logam. Dalam mesin refrijerator atau freezer, energi panas mengalir dari makanan melalui pipa alumunium atau tembaga hingga ke cairan refrigeran yang ada di dalam pipa alumunium atau tembaga.

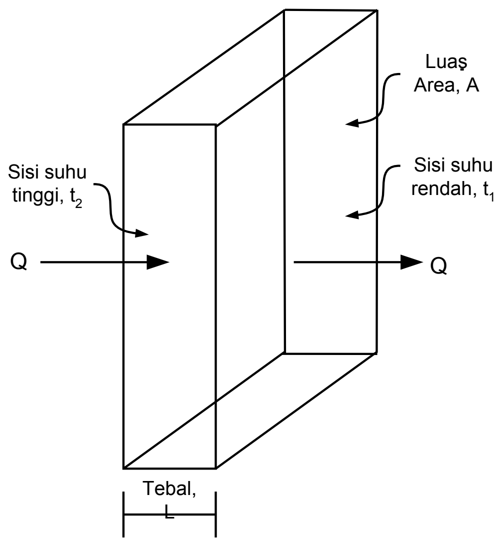
Konduktivitas Panas

Zat cair atau liquid dan gas mempunyai konduktivitas panas sangat lambat tetapi konduktivitasnya akan naik cepat bila dilakukan secara konveksi dan secara radiasi.

Logam memiliki konduktivitas panas yang bagus; gelas, dinding bata atau beton, kayu mempunyai konduktivitas panas buruk. Bahan yang mempunyai konduktivitas sangat buruk, misalnya stirofoam, dan glasswool lazim disebut sebagai isolator panas.

Kuantitas atau jumlah energi panas yang dikonduksikan melalui suatu benda tergantung pada beberapa faktor sebagai berikut:

1. Beda suhu antara kedua sisi benda (t2-t1)
2. Luas penampang benda (A)
3. Tebal benda (L)
4. Konduktivitas Panas yang dimiliki benda (K)
5. Waktu (T)



Gambar 1.20 Prinsip Pemindahan energi Panas secara Konduksi

Jumlah energi panas yang dikonduksikan melalui benda adalah berbanding langsung atau proporsional dengan luas area dan beda suhu tetapi berbanding terbalik dengan ketebalan benda.

Hubungan kelima faktor tersebut, dapat diformulasikansebagai berikut,

$$Q = \frac{(K)(A)(T)(t_2 - t_1)}{(L)} \qquad (3.4)$$

Di mana,
Q = Jumlah panas dalam Btu atau dalam watt (W)
K = Koefisien konduktivitas panas dalam (Btu)/(hr)(ft^2)(^oF/in) atau (W)/(m^2)(^oC/m)
A = Luas Area dalam ft^2 atau m^2
T = Waktu dalam detik, menit atau jam
T2-t1 = Bed suhu dalam oF atau oC
L = tebal benda dalam in atau m

Contoh 3.2 Sebuah gedung mempunyai luas lantai 1650 ft2. Lantai terbuat dari kayu (maple) dengan ketebalan 0,875 inchi. Suhu permukaan lantai bagian atas (di dalam gedung) adalah 70^{o}F dan suhu permukaan lantai bagian bawah adalah 35oF. Hitung jumlah panas yang bocor melalui lantai per jam dalam Btu dan dalam kJ. Gunakan Tabel 2.1, Tabel 1.3 dan Tabel 1.4

Solusi

Jumlah panas yang bocor melalui lantai dalam Btu per jam, adalah

$$Q = \frac{1{,}2 \dfrac{Btu}{(hr - ft^2)\dfrac{^oF}{in}} x 1650 ft^2 x (70 - 35)^o F}{0{,}875 in} = 79.200 \text{ Btu/hr.}$$

Jumlah panas yang bocor melalui lantai dalam kJ per jam, adalah

$$Q = \frac{0{,}17 \frac{W}{(m^2)(^oC/m)} x(1650x0{,}093)m^2 x((70-35)-32)/1{,}8(^oC)}{(0{,}875x0{,}0254)m}$$

= 1956 watt

Tabel 3.1 Koefisien Konduktivitas Panas (K)

Jenis Benda	Koefisien Konduktivitas Panas (K)	
	Satuan SI	Satuan British
	W/(m^2)(^{o}C/m)	Btu/(hr.ft^2)(oF/in.)
Udara	0,024	0,168
Alumunium	212	1480
Dinding Bata (rendah)	0,72	5,0
Dinding Bata (tinggi)	1,33	9,2
Dinding Beton	1,72	12,0
Tembaga	378	2640
Papan Gabus	0,05	0,34
Fiberglass	0,037	0,23
Gelas	0,79	5,5
Papan isolasi fiber	0,04 – 0,05	0,28 – 0,35
Besi	50,5	350
Kapok	0,034	0,24
Glasswool	0,037	0,27
Perak	412	2880
Baja	44,6	312
Air (liquid)	0,61	4,28
Air (es)	2,23	15,6
Kayu Maple	0,17	1,20
Kayu Oak	0,16	1,10
Kayu Pinus	0,12	0,84
Kayu redwood	0,11	0,74

Contoh 3.3 Sebuah mesin pemanas ruang (Furnace) menghasilkan panas sebesar 54 kW. Panas tersebut disalurkan ke ruangan melalui dinding besi yang memiliki tebal 8,4 mm. Bila besar suhu pada sisi panas dari dinding besi tersebut adalah 135°C dan suhu udara sekitarnya adalah 124°C. Tentukan luas permukaan dinding besinya?

Solusi. Gunakan formula sebagai berikut

$$A = \frac{(Q)(L)}{(K)(t2 - t1)} \qquad (2.6)$$

$$A = \frac{(54x10^3)Wx(0{,}0084)m}{(50{,}5)\dfrac{W}{(m^2)(^oC/m)}x(135-124)^oC} = 0{,}817 \ \text{m}^2$$

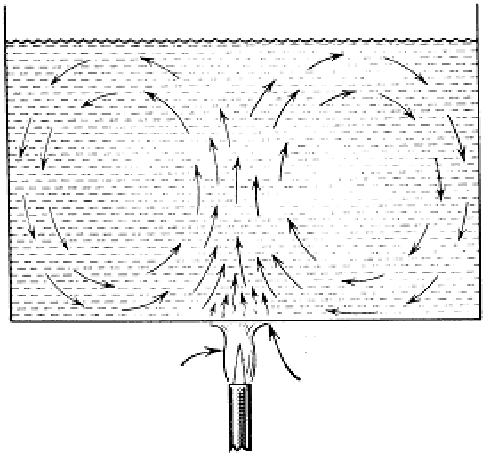
Cara Konveksi

Pemindahan panas secara konveksi terjadi bila panas bergerak dari satu tempat ke tempat lain melalui suatu aliran arus dalam medium liquid atau gas. Aliran arus panas ini disebut arus konveksi sebagai akibat dari perubahan berat jenis liquid atau gas karena menerima panas.

Bila ada bagian fluida yang mendapat energi panas, akan mengembang, volume per satuan masa meningkat. Bagian fluida yang mendapat energi panas akan lebih ringan, sehingga bergerak naik ke puncak, dan ruang yang ditinggalkannya akan langsung diganti oleh fluida yang lebih dingin. Misalnya, sebuah sejumlah air di dalam tanki metal dipanaskan lewat bagian dasar tanki (Gambar 2.2). Bagian air yang lebih dingin akan menggantikan bagian yang lebih ringan yang bergerak naik

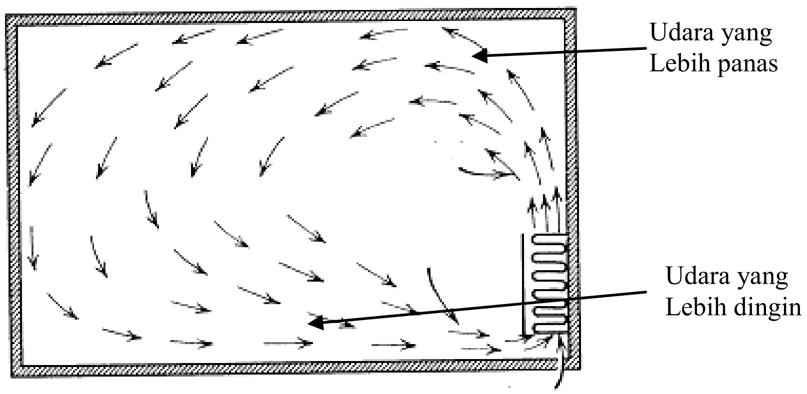
Energi panas dari sumber nyala api dikonduksikan melalui bagian bawah tanki metal. Air yang berada paling dekat dengan sumber panas akan menyerap energi panas, suhunya naik sehingga air mengembang. Bagian air yang mengambang tersebut menjadi lebih ringan dibandingkan air sekitarnya sehingga ia akan bergerak naik dan tempatnya akan segera digantikan oleh bagian air lainnya yang lebih dingin. Bagian air baru tersebut akan mandapat energi dari nyala api, sehingga ia juga akan

bergerak naik, begitu seterusnya. Karena proses terus berlanjut, maka energi panas akan didistribusikan ke seluruh masa air secara alami karena adanya arus konveksi.



Gambar 1.21 Konduksi

Arus konveksi juga dapat timbul pada udara yang mendapat energi panas, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.22.



Gambar 1.22 Perpindahan padan secara Konveksi di udara

Cara Radiasi

Pemindahan panas secara radiasi tidak dapat dijelaskan dengan konteks pergerakan dan tumbukan molekul secara beranting. Hampir semua energi panas yang ada di permukaan bumi berasal dari radiasi sinar matahari yang jaraknya ratusan juta kilometer dari bumi. Energi panas dari matahari disalurkan ke bumi

secara radiasi melalui gelombang elektromagnetik dengan kecepatan rambat sebesar $3x10^8$ m/s atau setara dengan186.000 mil/s.

Setiap hari kita menerima energi radiasi matahari dengan besaran rata-rata sekitar 860 W/m^2 atau setara dengan 4,5 Btu/(min)(ft^2). Energi sebesar itu diserap langsung oleh atap rumah kita. Marilah kita hitung betapa besarnya energi radiasi matahari ini yang dapat diserap oleh rumah kita. Anggaplah sebuah rumah memiliki luas permukaan sebesar 50 m2. Ini berarti, rumah tersebut akan menerima energi panas dari matahari sebesar 860x50= 43.000 watt atau 43 kW. Anggaplah efisiensi alat yang digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik adalah 20%. Artinya kita dapat menerima energi Cuma-Cuma setiap hari sebesar 0,2x43 =8,6 kW. Sangat fantastik. Tetapi sayang sebagian besar kita belum memanfaatkan energi pemberian Illahi ini.

Teori Stefan-Boltzmann

Eksperiman yang dilakukan oleh Stefan dan Boltzmann tentang radiasi panas menghasilkan suatu ketetapan, yakni jumlah panas yang diradiasikan dari suatu permukaan berbanding lurus dengan pangkat empat suhu kelvin. Formula,

$$Q = \sigma (T^4 – T_0^4) \qquad (3.3)$$

Di mana Q = Jumlah panas yang diradiasikan dalam satuan Kkal/(s)(m^2)

σ = konstanta radiasi, $1,35x10^{-11}$ kkal/(s)(m^2)(K^4) Atau $5,67x10^{-8}$ W/(m^2)(K^4)

T = suhu kelvin benda

T^0 = suhu kelvin udara sekitar benda.

Contoh 33 Radiator uap dengan permukaan warna hitam bekerja dengan suhu permukaan sebesar 180°F. Bila luas permukaan efektif adalah 10 ft^2. Berapa kapasitas panas dalam Btu/hr yang diradiasikan ke udara ruang, bila suhu ruang 70°F.

Solusi. Pertama, konversikan suhunya, sebagi berikut

180 °F = 82,2 °C = 355,2 K

70 °F = 21,1 °C = 294,1 K

Kemudian disubstitusikan ke persamaan 3.3

$Q = 1{,}35x10^{-11}$ kkal/(s)(m^2)(K^4) x (355^4-295^4) K^4

$= 1{,}35x10^{-11}$ kkal/(s)(m^2)(K^4) x $84{,}1x10^8$ K^4

$= 0{,}114$ kkal/(s)(m^2)

Dalam satu hari ada 3600 detik (s), dan 1 ft^2 = 0,093 m^2

Dengan menggunakan konversi tersebut, diperoleh

Q = 0,114 kkal/(s)(m^2) x 3600 (s/hr) x 0,093 (m^2/ft^2)

= 38,2 kkal/(hr)(ft2)

Karena, 1 kkal = 3,97 Btu, dan luas area radiator 10 ft^2, maka

Q = 38,2 kkal/(hr)(ft2) x 10 ft^2 x 3,97 (Btu/kkal)

= 1520 Btu/hr.

Perhitungan Energi Panas

Sifat energi panas yang terkandung dalam suatu benda selain air diekspresikan melalui suatu konsep yang disebut sebagai kapasitas panas spesifik (c). Kapasitas panas spesifik suatu benda adalah besarnya nilai Btu yang harus ditambahkan ke suatu benda atau diambil dari suatu benda setiap pound untuk menaikkan suhu sebesar 1 ^oF.

Dalam sistem British, kapasitas panas spesifik untuk air adalah 1 Btu/lb.^oF

Dalam satuan metrik, kapasitas panas spesifik diukur dalam satuan kilo kalori (kkal). Kapasitas panas spesifik untuk air adalah 1 kkal/kg.^oC.

1 Btu = 0,252 kkal.

1 kkal = 3,97 BTU

Dalam satuan Internasional, kapasitas panas spesifik diukur dalam satuan kilo Joule (kJ). Kapasitas panas spesifik untuk air adalah 4,19 kJ/kg K.

Kapasitas panas spesifik untuk benda lain, selalu lebih kecil dari satu. Dengan kata lain air memiliki kapasitas panas spesifik yang paling tinggi. Tabel 3.1 menunjukkan nilai kapasitas panas spesifik untuk beberapa benda. Definisi British thermal unit (Btu) telah memberi kemudahan bagi cara perhitungan jumlah panas yang diperlukan dalam proses perpindahan panas. Jumlah kuantitas panas yang diperlukan untuk proses pemanasan dan jumlah panas yang diambil untuk proses

pensinginan tergantung pada berat atau masa benda, nilai perubahan suhu dan nilai kapasitas panas spesifik. Formula matematikanya sebagai berikut,

Dalam sistem British,

$$Q = (m)(c)(t_2-t_1) \qquad (3.4)$$

Dalam hal ini Q = Kuantitas Panas yang diukur dalam (Btu)

m = masa benda dalam pound (lb)

c = panas spesifik dalam (Btu/lb.^{o}F)

t_2-t_1 = perubahan suhu dalam ^{o}F

Dalam sistem Internasional, persamaan 3.4 berubah menjadi

$$Q = (m)(c)(t_2-t_1) \qquad (3.5)$$

Dalam hal ini Q = Kuantitas Panas yang diukur dalam (kJ)

m = masa benda dalam kilogram (kg)

c = panas spesifik dalam (kJ/kg.K)

t_2-t_1 = perubahan suhu dalam ^{o}C.

Tabel 3.1 Kapasitas Panas Spesifik dari beberapa benda pada suhu 0 ^{o}C – 100 ^{o}C

Benda	Kapasitas Panas Spesifik (c)	
	Btu/lb.^{o}Fa Kkal/kg.^{o}C	kJ/kg.^{o}C
Air murni	1,00	4,19
Udara kering	0,24	1,01
Aluminium	0,22	0,92
Tembaga	0,093	0,39
Es	0,50	2.09
Besi	0,115	0,48
Uap	0,48	2,01
Uap air (70 ^{o}F)	0,45	1,88

Contoh 3.4 Kecepatan laju udara kering bertekanan yang keluar dari fan sebesar 1200 cfm. Besar nilai suhunya adalah 35^{o}F dan nilai volume spesifiknya adalah 13,5 ft3/lb. Tentukan besarnya kuantitas panas yang diperlukan per jam, bila suhunya ingin dinaikkan menjadi 120^{o}F.

Solusi. Pertama-tama, berat masa aktual udara yang akan dipanaskan harus ditetapkan terlebih dahulu. Dalam sesi 1.1 kita telah dapat menentukan jumlah udara yang disirkulasikan oleh fan atau blower, yaitu,

$$m = \frac{1200\dfrac{ft^3}{\min} x60\dfrac{\min}{hr}}{13{,}5\dfrac{ft^3}{lb}} = 5330 \text{ lb/hr}$$

Subtitusi pada persamaan 2.4, untuk c (udara) = 0,24 Btu/lb.^{o}F.

Diperoleh nilai kuantitas panas sebesar

$$Q = 5330\frac{lb}{hr} x0{,}24\frac{Btu}{(lb)(^o F)} x(120-35)^o F = 109.000 \text{ Btu/hr}$$

Dalam sistem metrik, mengekspresikan besarnya energi panas yang disalurkan dalam satuan Joule (J) atau kilo Joule (kJ), dan untuk menyatakan besarnya daya atau kapasitas panas yang disalurkan per detik dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW). Hubungan antara kkal dan kW adalah,

1 kkal/detik = 4,186 kW

1 kW = 0,239 kkal/detik

Contoh 3.5 Sebuah *register discharge* menyalurkan udara kering ke dalam suatu ruangan sebesar 1,25 m^3/detik. Volume spesifik udara kering adalah 0,895 m^3/kg dan suhunya 42^{o}C. Tentukan kapasitas panas yang disalurkan ke ruang bila suhu ruang 21^{o}C?

Solusi. Pertama dicari besarnya masa udara yang disalurkan

$$m = \frac{1{,}25\dfrac{m^3}{\det ik}}{0{,}895\dfrac{m^3}{kg}} = 1{,}4 \text{ kg/detik}$$

Dari Tabel 3.2, c untuk udara 1,01 kJ/(kg)(^{o}C), substitusi ke dalam persamaan 3.5, diperoleh

$$Q = 1{,}4\frac{kg}{\det} x1{,}01\frac{kJ}{(kg)(^o C)} x(42-21)^o C$$

= 29,7 kJ/det

= 29,7 kW

Contoh 3.6 Pada sebuah ruang pabrik yang dikondisikan udaranya, terdapat sebuah motor listrik yang mempunyai kapasitas sebesar 2 kW. Tentukan jumlah panas dalam Btu/hr yang ditambahkan oleh motor ketika sedang bekerja?

Solusi Energi mekanik yang dikeluarkan pompa per jam adalah

$$w = (25)HPx33.000 \frac{\frac{(ft)(lb)}{\min}}{1HP} x60 \frac{\min}{hr} = 49.500.000 \frac{(ft)(lb)}{hr}$$

Substitusi dalam persamaan 2.0

$$Q = \frac{w}{j} = \frac{49.500.000 \frac{(ft)(lb)}{hr}}{778 \frac{(ft)(lb)}{Btu}} = 63.600 \text{ Btu/hr}$$

Perubahan Wujud Zat

Telah diketahui bahwa semua zat dapat menyimpan sejumlah panas, sifat ini disebut kapasitas termal. Ketika cairan dipanaskan, suhu cairan naik ke titik didih. Ini merupakan titik suhu tertinggi yang dapat dicapai. Panas yang diserap oleh cairan untuk meningkatkan suhu sampai titik didih disebut panas sensible. Panas yang dibutuhkan untuk mengubah cairan menjadi uap pada suhu dan tekanan yang sama disebut panas laten. Pada kenyataannaya ini adalah perubahan entalpi pada perubahan wujud (jumlah panas yang diserap atau ditolak pada suhu konstan pada tekanan tertentu, atau perbedaan entalpi pada cairan terkondensasi murni antara kodisi jenuh kering dan keadaan cair jenuh pada tekanan yang sama).

Fusion adalah mencairnya material. Untuk zat murni titik cair/beku relatif tidak tergantung pada tekanan. Misalnya, es mulai mencair pada 0^OC. Itu jumlah panas yang dibutuhkan untuk mencairkan 1 kg es pada 0^OC sampai menjadi 1 kg air pada 0^OC disebut panas laten fusi air sebesar 334,92 kJ/kg. Demikian juga sebaliknya panas yang dibutuhkan untuk merubah wujud 1 kg air pada 0^OC kembali ke es.

Uap Air

Uap air (moisture) adalah gas yang ekilibrim dengan fasa cair-gas dibawah kurva saturasi atau hanya sedikit melewati garis saturasi uap. Jadi dalam kondisi saturasi maka wujud uap air adalah campuran antara fasa cair dan gas. Jika uap air saturasi terus mendapatkan panas maka suhunya akan naik dan kondisinya berubah menjadi uap panas lanjut (superheat)

Uap superheated adalah uap jenuh yang mendapat tambahan energi panas, sehingga meningkatkan suhunya di atas suhu titik didih.

Katakanlah massa uap (m) dengan kualitas (x). Maka jumlah volume dari gabungan fasa cair dan gas adalah:

$$V = V_{liq} + V_{vap} \quad (2.6)$$

Jika dituliskan dalam versi volume spesifik, maka diperoleh

$$mv = m_{liq}\, v_{liq} + m_{vap}\, v_{vap}$$

Jika dibagi dengan masa, maka didapat

$$v = (1 - x) + v_{liq}\, xv_{vap}$$

dan

$$v = v_{liq} + xv_{liq,vap} \quad (2.7)$$

di mana $v_{liq,vap} = v_{vap} - v_{liq}.$ (2.8)

Tugas 1.5: Memahami fenomena uap air.

Pemahaman tentang uap air menjadi sangat penting ketika kalian akan menganalisis sistem refrigerasi dan tata udara. Untuk itu kalian perlu mengumpulkan informasi tambahan terkait dengan uap air melalui berbagai sumber belajar. Sebagai pembuka akal, amati dan cermati kejadian yang kalian rasakan dalam kehidupan sehari-hari. Tentunya kalian semua pasti pernah mengalaminya. Dua pertanyaan strategis yang dapat menggungah minat dan perhatian kalian adalah: (1) Mengapa kita kadang berkeringat dan mengapa lupa kita kadang tidak bekeringat? Dan (2) Kapan kita akan berkeringat dan kapan kita tidak akan berkeringat? Uraikan pendapatmu! Dan

presentasikan hasilnya di depan kelas. Dalam paparan jelaskan situasi dan kondisi lingkungan berikut contoh nyata yang ada di lingkungan sekitar kalian. Buatlah kesimpulan dari hasil kegiatan itu dengan berdiskusi bersama kelompok belajar lainnya

Tabel termodinamika

Tabel termodinamika pertama kali diterbitkan pada tahun 1936 sebagai tabel uap oleh Keenan dan Keyes, dan kemudian direvisi dan diterbitkan pada tahun 1969 dan 1978. Penggunaan tabel termodinamika untuk berbagai zat cair, mulai dari air hingga ke beberapa jenis refrigeran sangat umum dalam perhitungan desain proses. Dalam buku ini, tabel yang memuat sifat-sifat thermodinamis dari zat dirujuk sebagai tabel termodinamika. Tabel ini memuat sifat thermodinamik suatu zat, mencakupi kondisi saturasi untuk gas dan liquid, kondisi superheat untuk gas, dan kondisi subcooled untuk liquid.

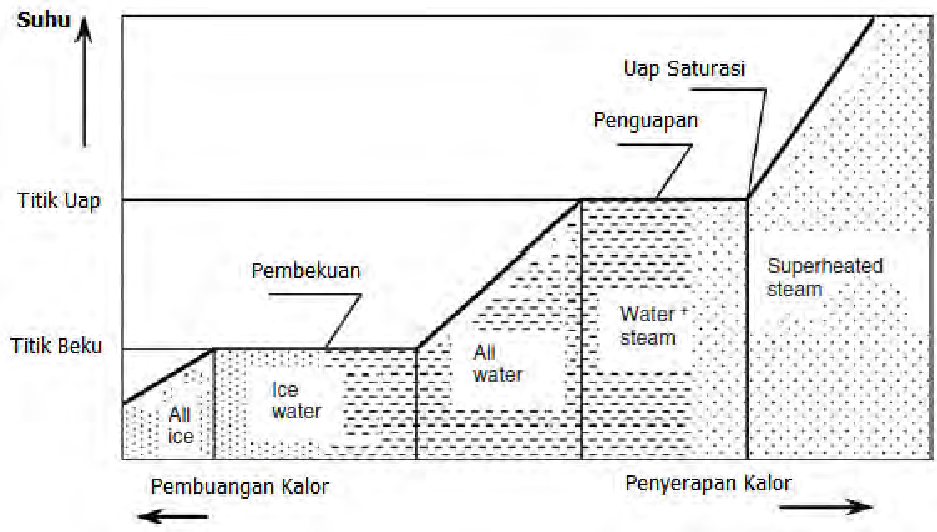
Dalam tabel tersebut dilengkapi pula dengan nilai-nilai suhu dan tekanan dan nilai-nilai empat parameter termodinamika lainnya seperti volume spesifik, energi internal, entalpi, dan entropi. Ketika kita memiliki dua variabel, kita dapat memperoleh data lainnya dari tabel masing-masing. Dalam beberapa perhitungan desain, jika kita tidak memiliki nilai yang tepat dari parameter, kita harus membuat interpolasi untuk menemukan nilai-nilai yang diperlukan.

Selain ini tabel termodinamika, baru-baru ini, banyak perhatian telah dibayarkan kepada tabel komputerisasi untuk perhitungan desain tersebut. Tentu saja, meskipun fakta bahwa ini mengeliminasi beberapa masalah membaca, para siswa mungkin tidak baik memahami konsep dan memahami subjek. Itulah sebabnya dalam kursus termodinamika itu adalah suatu keharusan bagi para siswa untuk mengetahui bagaimana untuk memperoleh data termodinamika dari masing-masing tabel termodinamika. The Handbook of Tabel Termodinamika oleh Raznjevic (1995) adalah salah satu sumber rujukan yang patut dimiliki .

Perubahan Fase Air

Wujud suatu sistem atau zat didefinisikan sebagai kondisi sistem atau sifat-sifat zat yang diperoleh melalui pengamatan makroskopik tertentu seperti suhu dan tekanan. Wujud zat ini sering tertukar dengan istilah fase, misalnya, fase padat atau

fase gas dari suatu zat. Masing-masing sifat dari suatu zat dalam keadaan tertentu hanya memiliki satu nilai tertentu, terlepas dari bagaimana suatu zat mencapai wujudnya. Sebagai contoh, ketika panas yang dibuang atau diserap oleh suatu zat, maka zat tersebut akan mengalami perubahan wujud. Suhu tetap konstan sampai perubahan wujud selesai. Hal ini dapat dari padat menjadi cair, atau cair ke uap, atau sebaliknya. Gambar 1.23 menunjukkan kurva perubahan fasa air.



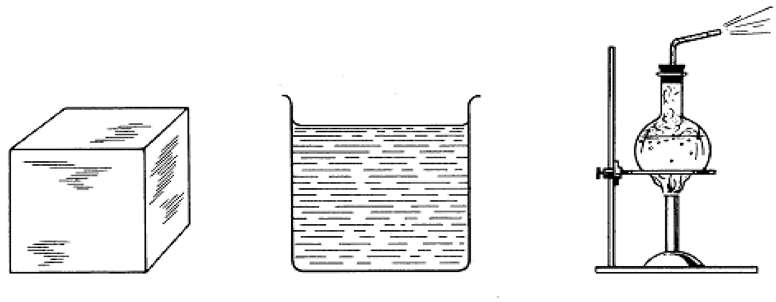
Gambar 1.23 Diagram Perubahan Fase Air

Status benda dapat berwujud dalam tiga fasa yang berbeda, yaitu sebagai zat padat, zat cair dan gas. Misalnya, air berbentuk zat cair, tetapi dapat muncul pula berupa zat padat, yaitu es, dan dapat muncul pula berupa uap air atau gas. Semua benda atau materi, di bawah kondisi suhu dan tekanan tertentu, dapat muncul dalam salah satu dari ketiga fase tersebut di atas. Penambahan dan penurunan energi yang dikenakan pada suatu benda dapat berpengaruh terhadap suhu dan wujud benda.

Untuk membantu memahai konsep ini, marilah kita tinjau kembali teori molekul. Katakanlah, air pada suhu ruang dan tekanan atmosfir berwujud cair atau likuid. Molekul air bergerak secara random, jarak antar molekul agak jauh, sering terjadi tumbukan elektron. Bila suhu air naik sampai 100^{o}C (212^{o}F), dan tekanan dijaga tetap 1 atmosfir, maka air akan mendidih dan mengeluarkan uap. Ini adalah proses perubahan wujud dari cair ke gas.

Uap air atau *steam*, adalah air dalam wujud gas. Sifat molekul uap air dalam wujud gas berbeda dengan sifat molekul air dalam wujud cair. Jarak antar molekul

uap menjadi lebih jauh, dan kecepatan gerak molekul menjadi lebih besar dari pada molekul air. Uap juga mudah dipampatkan atau memiliki tingkat kompresibel yang tinggi. Air dalam bentuk cair hampir tidak dapat dipampatkan. Uap air memiliki sifat seperti gas murni.



Es (Padat)	**Air (Cair)**	**Uap air (Gas)**
≥ 32 ^{o}C (0 ^{o}C)	**32 ^{o}F – 212 ^{o}F (0 ^{o}C – 100 ^{o}C)**	**≥ 212 ^{o}F (100 ^{o}C)**

Gambar 1.24 Wujud benda tergantung pada suhu dan tekanannya

Dalam kasus berikutnya, bila air dalam wujud cair tersebut, suhunya turun hingga mencapai 0^{o}C (32 ^{o}F), tekanan tetap konstan 1 atmosfir, maka air akan membeku dan berubah wujud menjadi es yaitu wujud padat dari air. Sifat molekul es seperti sifat molekul zat padat lain, yakni jarak molekul relatif lebih dekat, gerakan molekul menjadi tertahan sehingga energi molekul menjadi lebih rendah dan tidak dapat dipampatkan. Proses perubahan wujud untuk benda lain, sama seperti air tetapi dalam kondisi suhu dan tekanan yang berbeda.

Fasa Padat

Benda dalam fasa padat atau solid, memiliki energi potensial internal relative kecil. Molekul benda tersebut agak sedikit rapat akibat adanya gaya tarik dan gaya grafitasi. Struktur molekulnya menjadi kaku sehingga pergerakan molekul menjadi terbatas. Karena struktur molekulnya kaku (rigit) maka pada fasa padat ini ukuran dan bentuk benda cenderung tetap dan tidak dapat dimampatkan (non compressible).

Fasa Cair

Molekul pada benda yang berada pada fasa cair memiliki energi yang lebih besar daripada ketika berada pada fasa padat. Energi yang lebih besar ini, dapat mengatasi adanya gaya tarik-menarik molekul sehingga dapat lebih bebas bergerak. Molekulnya bebas bergerak kemana saja sehingga zatnya mudah mengalir mengikuti bentuk bejana yang ditempatinya.

Fasa Gas

Molekul benda dalam fasa gas memiliki energi yang lebih besar daripada energi yang dimiliki ketika berada dalam fasa cair. Ia mempunyai energi yang lebih dari cukup untuk mengatasi adanya gaya yang dapat mengekangnya. Konsekuensinya, mereka dapat terbang dengan kecepatan tinggi. Selalu bertubrukan dengan sesamanya dan juga dinding kontainernya. Oleh karena itu gas akan tetap berada pada ukurannya tetapi tidak pada bentuknya. Gas mudah dikompresi tetapi juga mudah bocor bila kontainernya tidak bagus.

Air satu pound pada tekanan atmosfir. Proses perubahan wujud dan hubungan antara kandungan panas (entalpi) dan suhu diperlihtakan dalam kurva T-H. Kurva T-H untuk air adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara suhu air (T) dan energi panas yang dikandungnya (Q). Bila energi panas yang ditambahkan ke air dalam wujud cair mencukupi kebutuhannya, maka air akan mendidih dan mengeluarkan uap. Bila energi panas yang diambil dari air mencukupi kebutuhannya, maka air akan membeku dan berubah menjadi padat atau solid. Hubungan antara besaran suhu dan energi untuk air diperlihatkan dalam Gambar 3.10

Panas Sensibel

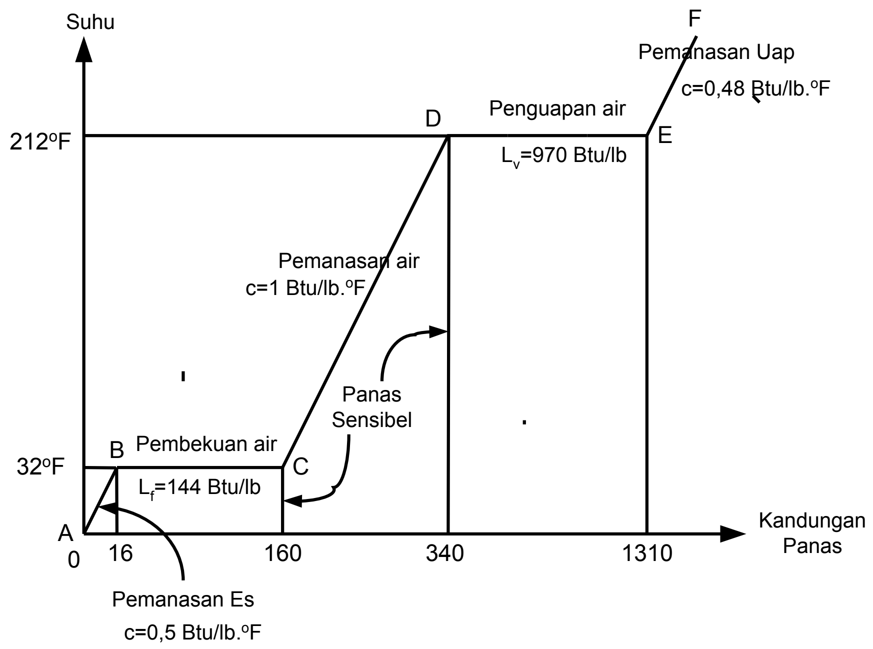
Titik awal diagram kurva T-H dimulai dari satu pound es pada suhu 0^oF. Suhu diplot pada sumbu vertical dan kandungan panas (entalpi) diplot pada sumbu horizontal.

Energi panas ditambahkan secara perlahan kepada es, sehingga suhu es naik secara gradual, 2^oF/Btu. Panas spesifik (c) untuk es adalah 0,5 Btu/lb. Bila panas yang diberikan mencapai 16 Btu, suhu es naik menjadi 32^oF. Proses pemanasan es ini direpresentasikan dalam garis AB. Energi panas yang diperlukan untuk proses ini disebut panas sensibel (Q_S).

Panas sensibel adalah energi panas yang bila ditambahkan atau diambil dari suatu benda akan menimbulkan efek sensibel pada benda tersebut (dapat dideteksi oleh indera kita), yaitu perubahan suhu yang dapat diukur dengan thermometer.

Pada titik B, wujud es masih tetap solid, tetapi suhunya naik menjadi 32^oF. Panas sensibel yang diperlukan oleh es untuk menaikkan suhunya dari 0 ke 32^oF adalah 16 Btu.

Kurva T – H untuk Air



Gambar 1.25 Diagram Kurva T-H untuk Fase Liquid dengan Sistem Imperial

Panas Laten

Bila sekarang kita tambahkan panas ke es, maka suhu es tidak akan naik, tetapi es mulai mencair. Bila energi panas terus ditambahkan hingga mencapai 144 Btu (160-16), maka seluruh es sudah mencair dan berubah wujud menjadi air. Energi panas sebesar 144 Btu hanya digunakan untuk merubah 1 pound es pada suhu 32^oF menjadi 1 pound air pada suhu yang sama, 32^oF.

Karena penambahan energi panas selama proses pencairan yang digambarkan dengan garis BC tidak merubah suhu es, namanya bukan panas sensibel. Kita tidak dapat mengukur efek tersebut dengan thermometer. Karena tidak dapat dideteksi oleh indera kita, maka lazim disebut sebagai panas laten (Q_L).

Panas laten adalah energi panas yang bila ditambahakan atau diambildari suatu benda akan menimbulkan perubahan wujud tanpa merubah suhunya.

Panas laten untuk pencairan es pada tekanan atmosfir dan suhu 32^{o}F atau 0^{o}C (Q_L atau L_F) adalah 144 Btu/lb.

Kembali ke percobaan di atas, bila energi panas ditambahkan ke air (titik C), secara gradual suhu air akan naik, 1 ^{o}F/Btu. Pada saat suhu air mencapai 212^{o}F (100^{o}C) titik D, maka panas sensibel yang diperlukan adalah 180 Btu (340-160).

Bila energi panas terus ditambahkan ke air yang suhunya telah mencapai 100^{o}C (titik D), secara gradual air mulai mendidih dan mengeluarkan uap. Diperlukan panas laten sebesar 970 Btu (1310-340) untuk merubah wujud air menjadi uap.

Panas laten untuk penguapan air pada tekanan atmosfir dan pada suhu 100^{o}C (Q_L atau L_V) adalah 970 Btu/lb.

Bila penambahan energi panas terus berlanjut, maka suhu uap akan naik. Panas sensibel yang diperlukan untuk merubah suhu uap setiap derajad fahrenheit adalah 0,48 Btu. Nilai ini sesuai dengan besaran panas spesifik untuk uap c = 0,48 Btu/Lb.

Kembali ke keseluruhan bahasan dari sesi ini, yaitu energi panas, daya dan perubahan wujud benda, yang paling penting harus kita pahami berkaitan dengan proses refrigerasi dan tata udara adalah panas sensibel dan panas laten. Pengukuran kandunagn panas merupakan hal yang paling penting dalam refrijerasi dan Tata Udara. Analisis yang paling utama adalah perhitungan panas total (Q) yaitu penjumlahan panas sensibel dan panas laten. Oleh karena itu dengan mengacu ke Gambar 3.10, pastikan anda sudah paham benar tentang diagram T-H.

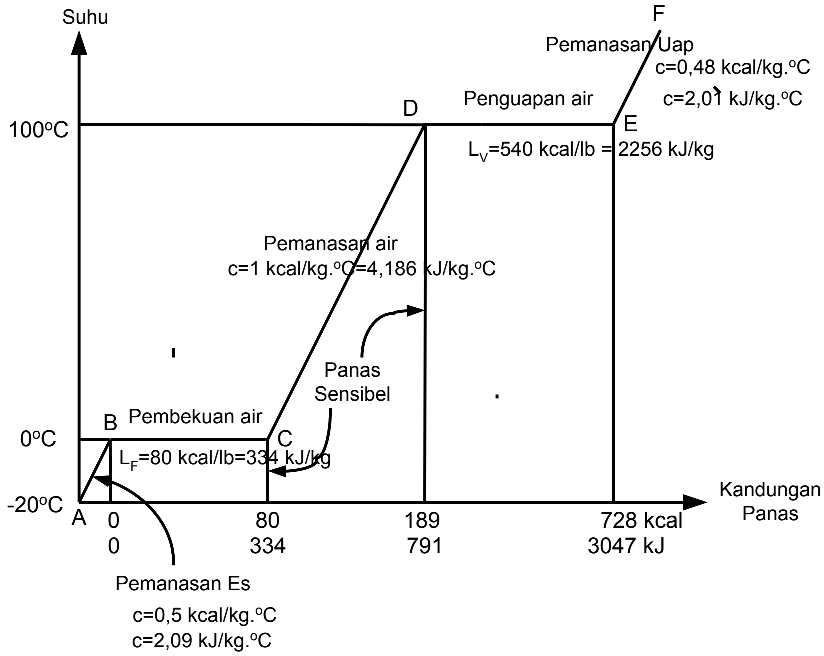
PanasTotal (entalpi) = panas sensibel + panas laten (1.14)

Dalam proses pengkondisian udara, penambahan atau pengambilan energi panas ke atau dari benda, baik udara, refrigeran, produk makanan dan benda lainnya akan selalu berlangsung secara terus menerus.

Sekarang pelajari dengan lebih seksama Gambar 3.11 yang membahas topik sama, tentang proses perubahan wujud air melalui diagram T-H seperti Gambar 3.10 Tetapi satuan yang digunakan berbeda yakni menggunakan sistem metrik dan sistem internasional. Yaitu:

L_F = 80 kcal/kg = 334 kJ/kg

L_V = 540 kcal/kg = 2256 kJ/kg



Gambar 1.26 Diagram T-H Fase Liquid dengan satuan SI

Air satu kilogram pada tekanan atmosfir. Proses perubahan wujud dan hubungan antara kandungan panas (entalpi) dan suhu diperlihatkan dalam kurva T-H.

Contoh 3.5 Suatu boiler penghasil uap, memanaskan 50 galon air yang suhunya 40°F setiap jam. Suhu uap yang dihasilkan oleh boiler adalah 240°F. Hitung entalpi yang diperlukan?

Solusi: Dalam kasus ini diperlukan panas sensibel dan panas laten.

Step 1. Pemanasan air, panas sensibel Q_S, persamaan 1.13,

$$Q_S = (5)gal x (8{,}33)\frac{lb}{gal} x 1 \frac{Btu}{(lb)(^oF)} x(212-40)^o F = 71.600 \text{ Btu}$$

Step2. Proses penguapan, panas laten Q_L

$$QL = (970)\frac{Btu}{lb} x(416) lb = 404.000 \text{ Btu}$$

Step 3. Pemanasan uap, panas sensibel

$$Q_S = (416) lb x 0{,}48 \frac{Btu}{(lb)(^oF)} x(28)^o F = 5600 \text{ Btu}$$

Total panas (entalpi) = 71.600+404.000+5600 = 481.200 Btu/hr

Contoh 3.6 Suatu koil pendingin dari sistem refrijerasi menerima udara kering dengan laju aliran sebesar 0,944 m^3/det. Volume spesifik udara kering adalah 0,890 m^3/kg. Suhu udara yang masuk ke koil adalah 41^oC dan suhu keluar dari koil adalah 13^oC. Tentukan panas total yang diperlukan untuk pendinginan udara ini?

Solusi: Dalam tidak terjadi perubahan wujud,jadi hanya panas sensibel yang diperlukan.

Step 1. Masa udara (m) yang disalurkan ke koil pendingin adalah

$$m = \frac{(0{,}944)\dfrac{m^3}{\det}}{(0{,}89)\dfrac{m^3}{kg}} = 1{,}06 \text{ kg/det.}$$

Step 2. Panas sensibel

$$QS = (1{,}06)\frac{kg}{\det} x(1{,}01)\frac{kJ}{(kg)(^oC)} x(41-13)^oC = 30\frac{kJ}{\det} = 30 \text{ kW}$$

Pendalaman

Saturasi (saturation), superlanjut (superheat) dan dingin lanjut atau superdingin (subcooled) adalah istilah untuk kondisi benda ketika berada pada suhu dan tekanan tertentu. Refrijeran yang digunakan sebagai fluida penukar kalor dalam mesin refrijerasi, akan mengalami ketiga kondisi tersebut ketika sedang bersirkulasi di dalam mesin refrijerasi. Untuk memahami konsep ini, marilah kita kembali ke Gambar 1.25.

Kondisi wujud air pada saat berada di garis DE adalah campuran antara bentuk cair dan gas. Mendekati titik D, jumlah air lebih banyak, tetapi mendekati titik E jumlah uap lebih banyak. Kondisi wujud benda yang terdiri dari campuran gas dan cair, lazim disebut sebagai kondisi saturasi (saturation). Air pada titik D disebut likuid saturasi dan Uap pada titik D disebut gas saturasi.

Uap pada titik F, disebut uap panas lanjut (superheat vapour)

Kondisi wujud es pada saat berada di garis BC adalah campuran antara bentuk padat dan cair. Mendekati titik B, jumlah masih bentuk padat, tetapi mendekati titik C,

bentuk cair lebih banyak. Es pada titik B, disebut sebagai suhu saturasi es, dan pada titik C,disebut suhu saturasi air.

Es pada suhu -20^{o}C, titik A, disebut sebagai suhu dingin lanjut es (subcolled) dengan derajad subcooled sebesar 20.

Tabel 1.2 Tekanan saturasi uap air pada berbagai suhu

Suhu		Tekanan	
^{o}F	^{o}C	In Hg	mm Hg
32	0	0,1803	4,58
50	10	0,3626	9,21
60	15,6	0,5218	13,25
70	21,1	0,7392	18,78
80	26,7	1,032	26,21
90	32,2	1,442	36,12
100	37,8	1,933	49,1
120	48,9	3,45	87,6
140	60	5,88	149,4
160	71,1	9,65	245
170	76,7	12,2	310
180	82,2	15,29	388
200	93,3	23,47	596
212	100	29,92	760

Zat murni

Zat murni didefinisikan sebagai suatu zat yang memiliki komposisi kimia homogen dan tidak berubah-ubah. Meskipun memiliki komposisi kimia yang sama, memungkinkan berada pada lebih dari satu fase, yaitu air (liquid), campuran liquid dan gas (uap saturasi), dan campuran es dan air. Masing-masing memiliki komposisi kimia yang sama. Namun, campuran air dan udara tidak dapat dianggap sebagai zat murni karena fakta bahwa komposisi masing-masing fase berbeda.

Pemahaman menyeluruh tentang zat murni menjadih sangat penting, terutama untuk aplikasi tata udara. Sifat termodinamika air dan uap dapat diambil dari tabel

dan grafik thermodinamik. Sifat air bertekanan rendah menjadi sangat penting dalam sistim tata udara, karena uap air yang muncul di atmosfer biasanya bertekanan kurang dari 1 psi (6,9 kPa). Pada tekanan rendah seperti itu, diketahui bahwa uap air menunjukkan perilaku sebagai gas ideal.

Panas Spesifik

Energi yang dibutuhkan untuk mengubah (menaikkan atau menurunkan) suhu pada satu satuan massa benda oleh satuan perbedaan suhu disebut panas spesifik (c). Satuan panas spesifik pada sistem SI adalah kJ/kg·K atau kJ/kg.^{O}C. Dalam sistem imperial (British), adalah 1 Btu/lb.^{o}F

Panas spesifik disebut panas spesifik tekanan konstan (cp) jika proses berlangsung pada konstan tekanan (misalnya, pemanasan atau pendinginan gas dalam perangkat piston silinder). Dan disebut sebagai panas spesifik konstan volume (cv) jika proses berlangsung pada volume konstan (misalnya, pemanasan atau pendinginan gas dalam tangki).

Sifat energi panas yang terkandung dalam suatu benda selain air diekspresikan melalui suatu konsep yang disebut sebagai kapasitas panas spesifik (c). Kapasitas panas spesifik suatu benda adalah besarnya nilai Btu yang harus ditambahkan ke suatu benda atau diambil dari suatu benda setiap pound untuk menaikkan suhu sebesar 1 ^{o}F.

Dalam satuan metrik, kapasitas panas spesifik diukur dalam satuan kilo kalori (kkal). Kapasitas panas spesifik untuk air adalah 1 kkal/kg.^{o}C.

1 Btu = 0,252 kkal, dan 1 kkal = 3,97 BTU

Dalam satuan Internasional, kapasitas panas spesifik diukur dalam satuan kilo Joule (kJ). Kapasitas panas spesifik untuk air adalah 4,19 kJ/kg K. Kapasitas panas spesifik untuk benda lain, selalu lebih kecil dari satu. Dengan kata lain air memiliki kapasitas panas spesifik yang paling tinggi. Tabel 1.3 menunjukkan nilai kapasitas panas spesifik untuk beberapa benda.

Tabel 1.3 Kapasitas Panas Spesifik dari beberapa benda pada suhu 0 ^oC – 100 ^oC

Benda	Kapasitas Panas Spesifik (c)	
	Btu/lb.^{o}Fa Kkal/kg.^{o}C	kJ/kg.^{o}C
Air murni	1,00	4,19
Udara kering	0,24	1,01
Aluminium	0,22	0,92
Tembaga	0,093	0,39
Es	0,50	2.09
Besi	0,115	0,48
Uap	0,48	2,01
Uap air (70 ^{o}F)	0,45	1,88

Definisi British thermal unit (Btu) telah memberi kemudahan bagi cara perhitungan jumlah panas yang diperlukan dalam proses perpindahan panas. Jumlah kuantitas panas yang diperlukan untuk proses pemanasan dan jumlah panas yang diambil untuk proses pensinginan tergantung pada berat atau masa benda, nilai perubahan suhu dan nilai kapasitas panas spesifik. Formula matematikanya sebagai berikut,

Dalam sistem British,

$$Q = (m)(c)(t_2-t_1) \qquad (1.15)$$

Dalam hal ini Q = Kuantitas Panas yang diukur dalam (Btu)

m = masa benda dalam pound (lb)

c = panas spesifik dalam (Btu/lb.^{o}F)

t_2-t_1 = perubahan suhu dalam ^{o}F

Dalam sistem Internasional, persamaan 1.14, berubah menjadi

$$Q = (m)(c)(t_2-t_1) \qquad (1.16)$$

Dalam hal ini Q = Kuantitas Panas yang diukur dalam (kJ)

m = masa benda dalam kilogram (kg)

c = panas spesifik dalam (kJ/kg.K)

t_2-t_1 = perubahan suhu dalam ^{o}C.

Contoh 3.7: Kecepatan laju udara kering bertekanan yang keluar dari fan sebesar 1200 cfm. Besar nilai suhunya adalah 35^{o}F dan nilai volume spesifiknya adalah 13,5 ft3/lb. Tentukan besarnya kuantitas panas yang diperlukan per jam, bila suhunya ingin dinaikkan menjadi 120^{o}F.

Solusi: Pertama-tama, berat masa aktual udara yang akan dipanaskan harus ditetapkan terlebih dahulu. Dalam sesi 1.1 kita telah dapat menentukan jumlah udara yang disirkulasikan oleh fan atau blower, yaitu,

$$m = \frac{1200\dfrac{ft^3}{\min} x 60 \dfrac{\min}{hr}}{13{,}5\dfrac{ft^3}{lb}} = 5330 \text{ lb/hr}$$

Subtitusi pada persamaan 2.4, untuk c (udara) = 0,24 Btu/lb.^{o}F.

Diperoleh nilai kuantitas panas sebesar

$$Q = 5330\frac{lb}{hr} x 0{,}24 \frac{Btu}{(lb)(^o F)} x (120-35)^o F = 109.000 \text{ Btu/hr}$$

Dalam sistem metrik, mengekspresikan besarnya energi panas yang disalurkan dalam satuan Joule (J) atau kilo Joule (kJ), dan untuk menyatakan besarnya daya atau kapasitas panas yang disalurkan per detik dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW). Hubungan antara kkal dan kW adalah,

1 kkal/detik = 4,186 kW

1 kW = 0,239 kkal/detik

4. Prinsip Refrigerasi

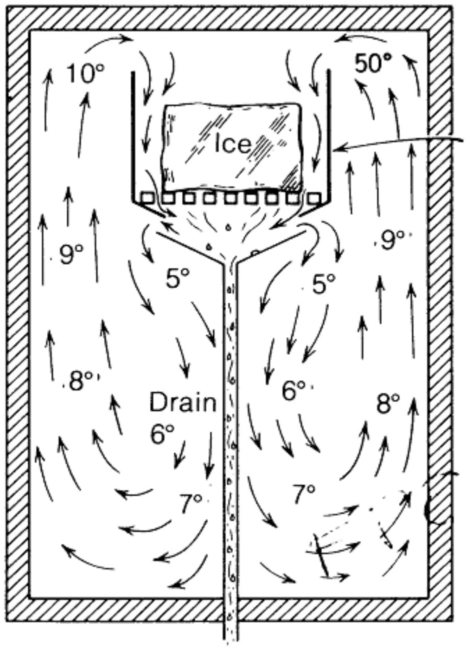
Refrigerasi merupakan proses transfer panas dari suatu substansi yang dapat berupa benda padat, cair dan gas. Akibat terjadinya transfer panas dari suatu benda akan menimbulkan efek pendinginan terhadap benda tersebut, atau menurunkan suhu benda tersebut. Ada sejumlah cara untuk menurunkan suhu, beberapa di antaranya adalah hanya untuk kepentingan sejarah saja. Dalam beberapa metode yang lebih tua, menurunkan suhu dapat dicapai dengan melakukan ekspansi cepat terhadap gas pada tekanan rendah. Dengan demikian, pendinginan dapat dilakukan dengan mengompresi udara, menghilangkan kelebihan panas yang dihasilkan dalam mengompresi, dan kemudian memungkinkan untuk diekspansikan. Penurunan suhu dapat dilakukan dengan menambahkan garam tertentu, seperti natrium nitrat, natrium

tiosulfat *(hypo*), dan natrium sulfat ke dalam air. Efek pendinginan yang lebih besar dapat diperoleh dengan melarutkan garam biasa atau kalsium klorida dalam air.

Tugas 1.6: Menguraikan Efek Pendinginan Sederhana

Perhatikan Gambar 1.27 berikut ini. Dalam Gambar tersebut ada sebongkah es balok ditempatkan dalam suatu rak tertutup yang dilengkapi dengan pembuangan air, digunakan sebagai medium pendinginan. Sirkulasi udara di dalam almari berlangsung secara alami. Dapat terlihat dalam gambar, suhu di dalam rak berubah dari suhu tertinggi 50^o ke suhu terendah 5^o.

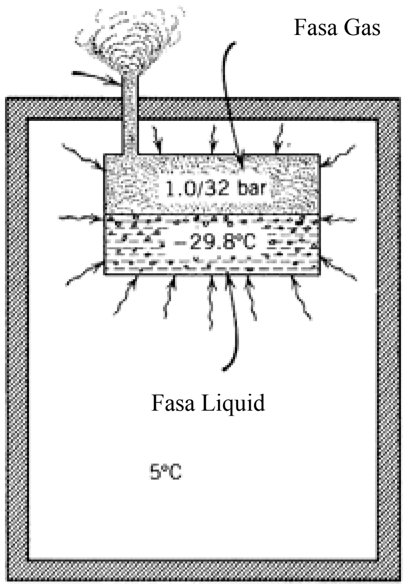
Diskusikan dengan teman sekelompok proses yang berlangsung di dalam rak tersebut. Presentasikan hasilnya di kelas.



Gambar 1.27 Cara membuat Efek Pendinginan Sederhana

Selanjutnya perhatikan pula Gambar 1.28 berikut ini. Gambar tersebut memperlihatkan cara memperoleh efek pedinginan dengan cara berbdeda, yakni menggunaan zat liquid tekanan dan suhu sangat rendah. Kalian tentu masih ingat ada beberapa zat liquid yang mudah menguap seperti alkohol dan bensin. Ketika kalian tampung alkohol di telapak tangan kalian apa yang kalian lihat dan rasakan?

Diskusikan dengan teman sekelompok proses yang berlangsung di dalam rak dalam Gambar 1.28. Presentasikan hasilnya di kelas.



Gambar 1.28 Cara Membuat Efek Pendinginan dengan Penguapan Liquid

Efek Pendiginan

Seperti diketahui, banyak cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan efek pendinginan atau efek refrigerasi. Pendinginan alami telah diterapkan sejak jaman kuno, dengan menggunakan batangan es yang diambil dari kawasan kutub. Dalam teknik alami ini, udara disirkulasi paksa dengan kipas (fan) melewati batangan es. Panas udara yang melewati batangan es, diserap oleh es, sehingga suhu udara turun, dan menghasilkan efek pendinginan udara.

Selama berabad-abad, orang telah mengetahui bahwa penguapan air menghasilkan efek pendinginan. Pada awalnya, mereka tidak berusaha untuk mengenali dan memahami fenomena tersebut, tetapi mereka tahu bahwa setiap bagian dari tubuh yang basah terasa dingin jika dikeringkan di udara. Setidaknya pada awal abad kedua, penguapan digunakan di Mesir untuk mendinginkan botol air, dan cara itu digunakan pula di India kuno untuk membuat es.

Upaya pertama untuk menghasilkan pendinginan mekanis tergantung pada efek pendinginan dari penguapan air. Pada 1755, William Cullen, seorang dokter Skotlandia, memerlukan suhu cukup rendah untuk pembuatan es. Dia menemukan ini

dengan menurunkan tekanan air yang tersimpan dalam wadah tertutup dengan pompa udara. Pada tekanan yang sangat rendah air dapat menguap pada suhu rendah. Panas yang dibutuhkan oleh sebagian air untuk merubah fase dari cair ke uap diambil dari sisa air, sehingga sebagian air sisanya berubah menjadi es. Sejak penemuan Cullen, banyak insinyur dan ilmuwan telah menciptakan sejumlah penemuan untuk menjelaskan prinsip-prinsip utama pendinginan mekanis.

Pada tahun 1834, Jacob Perkins, seorang Amerika yang berada di Inggris, menciptakan dan mematenkan sistem refrigerasi atau mesin-kompresi uap yang terdiri dari kompresor, kondensor, evaporator, dan pipa kapiler antara kondensor dan evaporator. Meningkatnya permintaan selama 30 tahun setelah 1850 membawa prestasi inventif besar dan kemajuan. Zat baru, misalnya, amonia dan karbon dioksida, yang lebih cocok daripada air dan eter, yang disediakan oleh Faraday, Thilorier, dan lain-lain, dan mereka menunjukkan bahwa zat ini dapat dicairkan.
Teori termodinamika yang mendasari sistem refrigerasi diberikan oleh Rumford dan Davy, yang telah menjelaskan sifat panas, dan selanjutnya pekerjaan diteruskan oleh Sadi Carnot dalam merumuskan ilmu termodinamika pada 1946.

Mesin-kompresi uap diciptakan dan dipatenkan oleh seorang profesor Amerika, Alexander C. Twining, pada tahun 1853. Dia mendirikan sebuah pabrik es menggunakan sistem ini di Cleveland, Ohio, dan bisa menghasilkan es satu ton per hari. Setelah itu, sejumlah penemu lain bereksperimen dengan mesin kompresi uap yang menggunakan eter atau senyawanya. Di Perancis, F.P.E. Carre mengembangkan dan memasang mesin kompresi eter dan Charles Tellier (yang adalah seorang pelopor pendinginan mekanis) membangun pabrik menggunakan metil eter sebagai refrijeran. Di Jerman, Carl Linde, dibiayai oleh pabrikan pembuat bir, membentuk unit metil eter pada tahun 1874. Tepat sebelum ini, Linde telah membuka jalan bagi kemajuan besar dalam industri pendingin mesin dengan menunjukkan bagaimana efisiensi termodinamika yang dapat dihitung dan direncanakan. Penemu mesin kompresi juga bereksperimen dengan amonia, yang menjadi refrijeran yang paling populer dan digunakan secara luas selama bertahun-tahun. Pada 1860-an, Tellier mengembangkan mesin kompresi amonia. Pada tahun 1872, David Boyle membuat peralatan memuaskan untuk pembuatan es dan dipatenkan pada tahun 1872 di Amerika. Namun demikian, tokoh paling penting

penting dalam pengembangan mesin-kompresi ammonia adalah Linde, yang memperoleh paten pada tahun 1876.

Refrigerasi adalah salah satu proses termal yang paling penting dalam berbagai aplikasi praktis, mulai dari pendingin ruang untuk kenyamanan tubuh dan pendinginan ruang untuk pengawetan makanan. Dalam sistem ini, refrijeran digunakan sebagai media mentransfer panas. Untuk mendapatkan efek refrigerasi dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain:

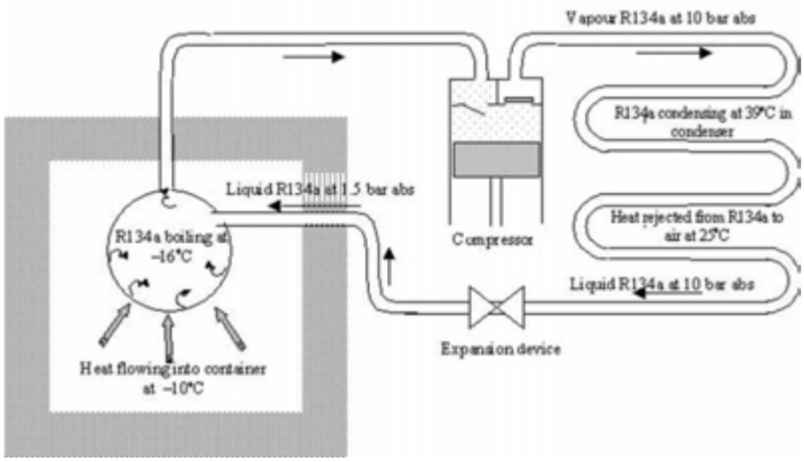
- sistem refrigerasi kompresi uap,
- sistem refrigerasi absorpsi,
- sistem refrigerasi tabung fortex,
- sistem refrigerasi jet ejector, dan
- sistem refrigerasi termoelektrik

Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Dengan menggunakan fluida penukar kalor yang cocok atau dan mengatur tekanan fluida yang digunakan, maka sistem tersebut dapat digunakan untuk menyerap atau membuang panas refrijeran pada suhu atmosfer normal.

Jika liquid refrigeran tekanan rendah menguap pada suatu ruang, maka ia akan menyerap panas dari ruangan. Dan tentu saja liquid refrjeran akan berubah wujud menjadi gas. Dan jika kemudian gas refrijeran tersebut dikompresi hingga mencapai tekanan tertentu, maka gas refrijeran akan membuang panasnya ke udara sekitarnya sehingga ia akan mengembun dan berubah menjadi liquid refrigeran tekanan tinnggi. Selanjutnya, tekanan liquid refrijeran akan diturunkan lagi agar dapat diuapkan kembali di evaporator, begitu proses selanjutnya berulang kembali. Kompresi gas dicapai dengan menggunakan kompresor dan penurunan tekanan liquid refrijeran digunakan pipa kapiler atau katub penurun tekanan (katub ekspansi).

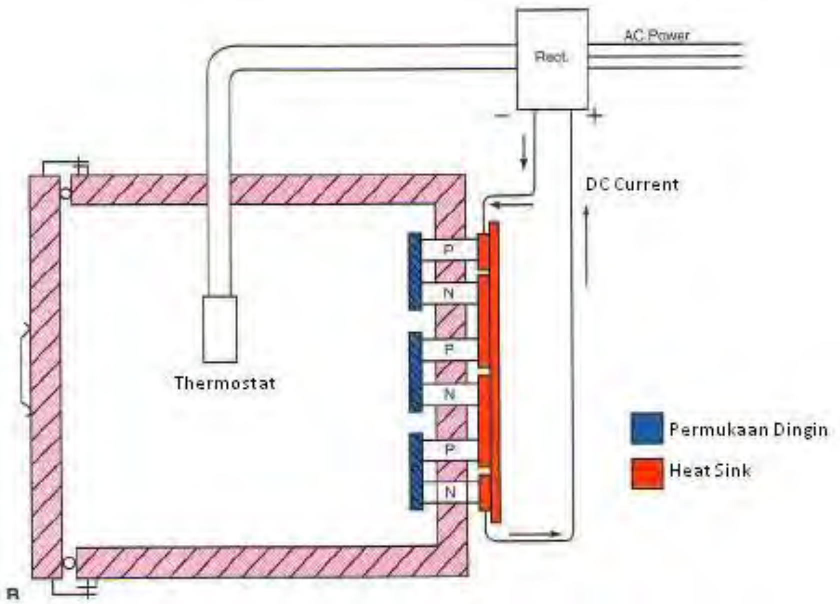
Dalam pendinginan mekanis, digunakan refrijeran sebagai fluida penukar kalor. refrijeran adalah zat yang mampu mentransfer panas pada suhu rendah di media evaporasi, dan suhu tinggi di media kondensasi, melalui proses evaporasi, kompresi, kondensasi, dan ekspansi. Cara mekanik ini lazim disebut sebagai sistem refrigerasi kompresi gas. Gambar 1.28 memperlihatkan tipikal sistem refrigerasi kompresi gas.



Gambar 1.29 Tipikal Sistem Refrigerasi Kompresi Gas

Sistem Refrigerasi Thermoelektrik

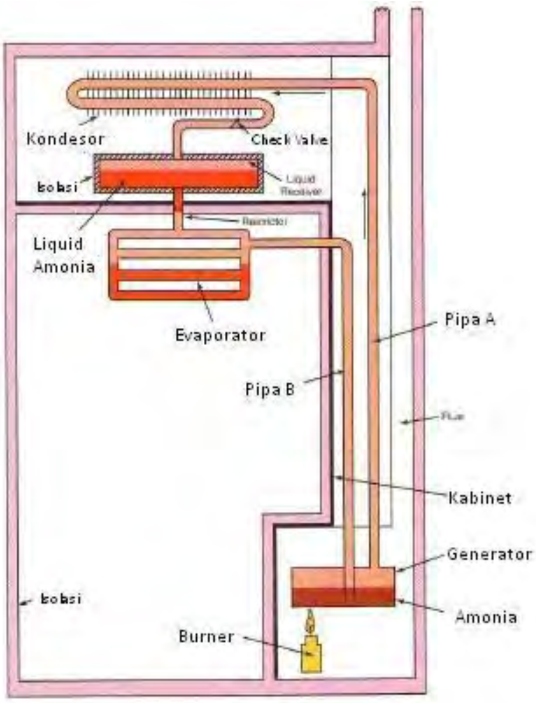
Pada sistem refrigerasi thermoelektrik, efek pendinginan diperoleh melalui dua bahan semikonduktor yang memiliki hambatan listrik dan hambatan termal berbeda, disambung jadi satu dan kemudian dialiri arus listrik. Gambar 1.30 memperlihatkan prinsip sistem refrigerasi thermoelektrik. Jika pada sambungan PN dialiri listrik arus searah, maka pada sambungan PN lainnya akan mengalami penurunan suhu yang sangat tajam sehingga dapat menimbulkan efek pendinginan.



Gambar 1.30 Sistem Refrigerasi termoelektrik

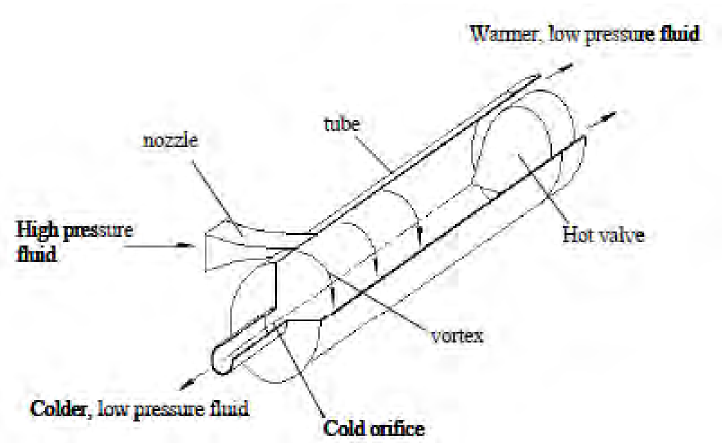
Sistem Refrigerasi Absorbsi

Cara lain untuk mendapatkan efek refrigerasi dilakukan dengan cara absorbsi, seperti diperlihatkan dalam gambar 1.31. Dalam Cara absorbsi, fungsi kompresor digantikan dengan generator absorber.



Gambar 1.31 Sistem Refrigerasi Absorbsi

Sistem Refrigerasi Tabung Vortex



Gambar 1.32 Tabung Vortex

Gambar 1.32 menggambarkan tabung pusaran counter-flow. Gas tekanan tinggi memasuki tabung melalui satu atau lebih tangensial nozel. Gas tekanan rendah yang lebih dingin meninggalkan tabung melalui sebuah lubang di dekat garis tengah yang berdekatan dengan bidang nozel dan gas tekanan rendah yang lebih hangat, keluar melalui ujung tabung yang berlawanan dengan nozel. Perangkat ini ditemukan oleh ranque (1933) dan diperiksa secara eksperimen pada tahun 1940 oleh Hilsch (1947).

Tabung vortex tidak memerlukan usaha atau interaksi energi panas dengan lingkungan untuk beroperasi. Akibatnya efek pemisahan energi harus mengacu kepada interaksi energi internal di dalam tabung vortex, antara dua aliran fluida. Mekanisme yang tepat dari interaksi ini sulit dipahami karena kurangnya pengukuran yang reliabel dari suhu, tekanan , dan kecepatan distribusi.

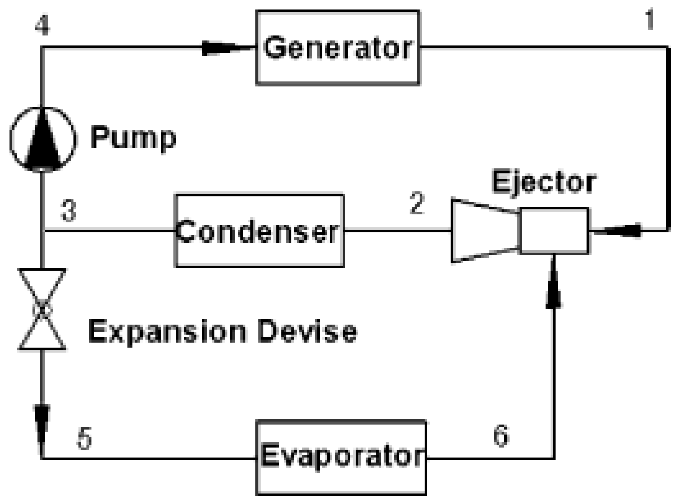
Sistem Refrigerasi Ejector

Gambar 1.33 memperlihatkan prinsip sistem refrigerasi ejector konvensional atau lazim disebut sebagai sistem CERS (Conventional Ejector Refrigeration System). CERS terdiri dari sebuah generator, evaporator, condenser, expansion device, ejector dan pompa sirkulasi (circulating pump).

Pada sistem ini, gas tekanan tinggi (primary fluid) dari generator mengalir melalui nozzle yang ada pada ejector masuk ke gas tekanan rendah (secondary fluid) dari evaporator. Kedua gas bercampur di bagian mixing section dan menyamakan tekannanya di dalam diffuser. Selanjutnya kombinasi gas tersebut mengalir ke condenser di mana ia akan mengembun. Di condenser, zat kondensat terbagi menjad dua, bagian pertama akan dipompakan kembali ke generator, dan bagian lainnya mengalir ke expansion device dan masuk ke evaporator, di mana zat tersebut akan menguap menjadi gas kembali. Gas tersebut akan masuk kembali ke ejector, dan prosesnya berulang kembali.

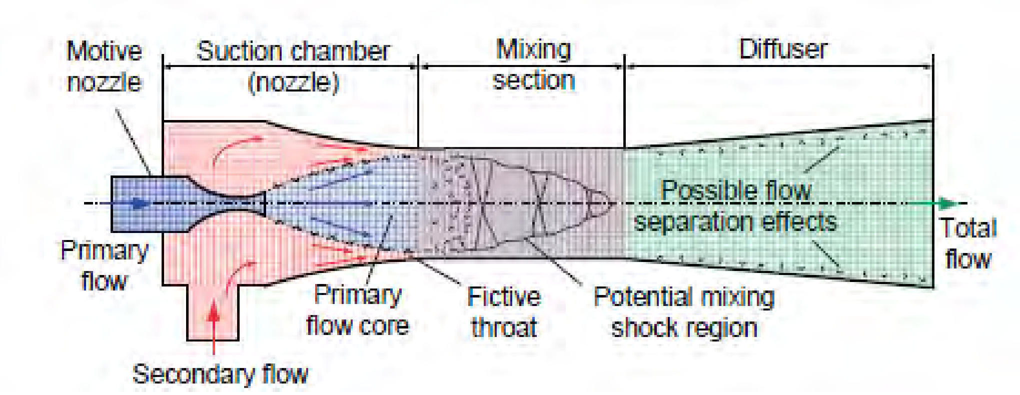
Dalam satu setiap siklus, jika sistem mendapatkan panas dari sumber panas di dalam generator dan kerja dari pompa, akan menghasilkan efek pendinginan (cooling effect) di evaporator dan membuang energi panas ke lingkungan sekitranya melalui condenser.

.



Gambar 1.33 tipikal Sistem Refrigerasi Ejector Konvensional

Ejector merupakan komponen kunci pada siklus sistem refrigerasi ejector. Ejector terdiri dari tiga bagian, yaitu: nozzle section yang memiliki chamber untuk primary fluid dan chamber untuk secondary fluid, mixing section dan, dan diffuser section



Gambar 1.34 tipikal Sistem Ejector

PROBLEMATKA

I. Tugas Kelompok

1. Kulkas (refrigerator) dan freezer merupakan peralatan rumah tangga yang sangat diperlukan oleh setiap rumah tangga. Untuk kepentingan kepraktisan, seringkapi pada suatu uint peralatan rumah tangga dilengkapi dengan freezer dan refrigerator. Tentunya di rumah kalian pasti juga tersedia peralatan tersebut. Coba amati, kulkas yang ada di rumah kalian masing-masing. Kemudian tentunya akan muncul pertanyaan di benak laian, untuk memperoleh efek pendinginan prinsip apa yang digunakan? Dan mengapa menggunakan prinsip tersebut? Kenapa tidak menggunakan prinsip lainnya. Diskusikan masalah tersebut dengan teman sekelompok. Presentasikan hasilnya di depan kelas menggunakan power point presentation. Usahakan materi presentasi terdiri dari gambar-gambar yang relevan dengan teks narasinya. Buat presentasi kalian semenarik mungkin.
2. Pada Tugas 1.6 Kalian telah menguraikan tentang cara mendapat efek pendinginan sederhana melalui balok es dan melalui penyediaan liquid tekanan rendah. Pertanyaan lanjutan adalah bagaimana cara menyediakan liquid dengan tekanan sangat rendah? Diskusikan dengan teman sekelompokmu dan presentasikan di kelas.

II. Tugas Individu

1. Hasil pengukuran suhu kondensasi dengan termometer diperolah nilai dalam skala Celcius sebesar 42 derajad. Tentukan nilai ukurany dalam derajad fahrenheit!
2. Sebuah pompa yang digunakan dalam mesin tata udara, memompa air menuju *cooling tower* yang terletak di ketinggian 300 feet dari pompa. Laju aliran airnya sebesar 120 galon per menit. Tentukan besarnya daya dalam kilo Watt (kW) yang diperlukan untuk melekukan kerja tersebut. Bila efisiensinya 100% berapa konsumsi daya listrik yang diperlukan?
3. Sebuah fan menghembuskan udara kering pada suhu 30^oF, sebesar 3300 ft^3 per menit (cfm) pada tekanan 1 atmosfir. Hitung quantitas udara yang disirkulasikan setiap jam dalam satuan pound dan kilogram?

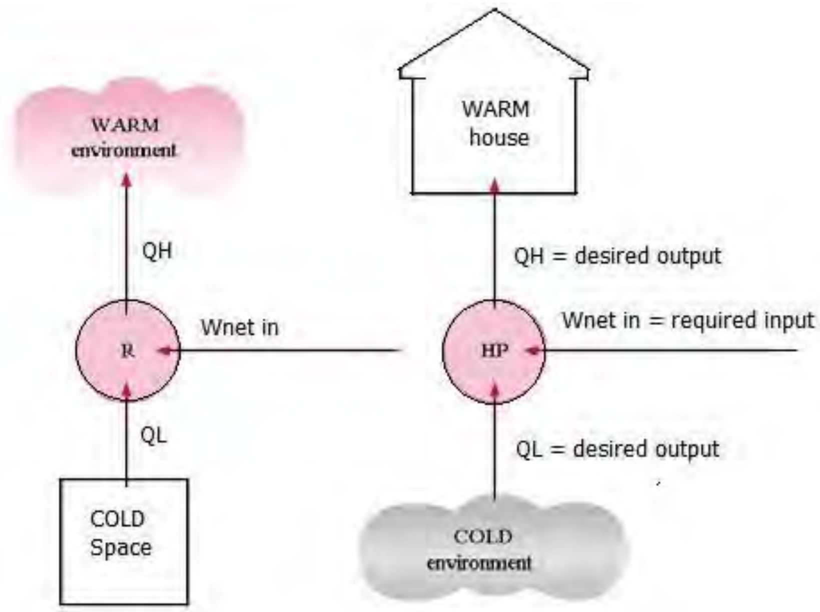
4. Suatu gaya yang dikenakan pada suatu benda yang memiliki masa 18 kg, menimbulkan akselerasi benda sebesar 11 m/s^2 searah dengan arah gaya. Tentukan besarnya gaya tersebut?
5. Masa air yang mengalir dalam suatu pipa adalah 0,08 m^3/s. Tentukan masa air yang mengalir dalam satuan kilogram per detik (kg/s)?
6. Sebuah kompresor refrijerasi memompa gas amonia. Laju aliran gas amonia adalah 75 lb/min. Suhu gas amonia adalah 30^oF dan tekanannya 1 atm. Tentukan laju aliran gas amonia dalam satuan cfm dan dalam m^3/s.
7. Pengukuran tekanan kerja suatu unit pendingin diperoleh harga 220 psi. Dan 1,5 bar. Tentukan masing-masing nilai tekanan absolutnya!
8. Udara yang masuk ke koil pendingin mempunyai volume spesifik sebesar 17 ft^3/lb. Bila blower yang digunakan dapat mensirkulasikan udara sebesar 1800 ft^3/min (cfm), tentukan berapa pound jumlah udara yang disirkulasikan oleh blower per menit?
9. Sebuah tanki yang lantainya berukuran (3 x 3) meter, diisi air sehingga masa air total mencapai 20.000 kg. Tentukan (a) Gaya grafitasi dalam newton yang diterima dasar tanki, (b) tekanan yang diterima dasar tanki dalam pascal?
10. Sebuah pompa yang digunakan dalam mesin tata udara, memompa air menuju *cooling tower* yang terletak di ketinggian 300 feet dari pompa. Laju aliran airnya sebesar 130 galon per menit. Tentukan besarnya daya dalam kW yang diperlukan untuk melekukan kerja tersebut. Bila efisiensinya 90% berapa konsumsi daya listrik yang diperlukan?
11. Sebuah gedung mempunyai luas lantai 1750 ft2. Lantai terbuat dari kayu (maple) dengan ketebalan 0,850 inchi. Suhu permukaan lantai bagian atas (di dalam gedung) adalah 80^oF dan suhu permukaan lantai bagian bawah adalah 30^oF. Hitung jumlah panas yang bocor melalui lantai per jam dalam Btu dan dalam kJ.
12. Sebuah mesin pemanas ruang (Furnace) menghasilkan panas sebesar 50 kW. Panas tersebut disalurkan ke ruangan melalui dinding besi yang memiliki tebal 8,5 mm. Bila besar suhu pada sisi panas dari dinding besi tersebut adalah 145^oC dan suhu udara sekitarnya adalah 125^oC. Tentukan luas permukaan dinding besinya?

13. Kecepatan laju udara kering bertekanan yang keluar dari fan sebesar 1250 cfm. Besar nilai suhunya adalah 40^oF dan nilai volume spesifiknya adalah 13,5 ft3/lb. Tentukan besarnya kuantitas panas yang diperlukan per jam, bila suhunya ingin dinaikkan menjadi 140^oF
14. Sebuah alat refrigerasi memiliki sebuah motor listrik yang mempunyai kapasitas sebesar 2,5 kW. Tentukan jumlah panas dalam Btu/hr yang ditambahkan oleh motor ketika sedang bekerja?
15. Suatu boiler penghasil uap, memanaskan 60 galon air yang suhunya 44^oF setiap jam. Suhu uap yang dihasilkan oleh boiler adalah 250^oF. Hitung entalpi yang diperlukan?
16. Suatu koil pendingin dari sistem refrijerasi menerima udara kering dengan laju aliran sebesar 0,95 m3/det. Volume spesifik udara kering adalah 0,890 m3/kg. Suhu udara yang masuk ke koil adalah 40^oC dan suhu keluar dari koil adalah 12^oC. Tentukan panas total yang diperlukan untuk pendinginan udara ini?
17. Kecepatan laju udara kering bertekanan yang keluar dari fan sebesar 1250 cfm. Besar nilai suhunya adalah 30^oF dan nilai volume spesifiknya adalah 13,5 ft3/lb. Tentukan besarnya kuantitas panas yang diperlukan per menit, bila suhunya ingin dinaikkan menjadi 130^oF.

B. Kegiatan Belajar 2

Menguraikan Komponen Utama Unit Refrigerator Domestik

Mesin refrigerasi domestik dibangun berdasarkan sistem refrigerasi kompresi gas. Mesin kompresi gas merupakan efek kebalikan dari mesin kalor. Tujuan sistem refrigerasi adalah untuk menghilangkan panas dari media dengan suhu rendah (*heat source*) dan kemudian mentransfer panas ini ke medium dengan suhu yang lebih tinggi (*heat sink*). Gambar 2.1 menunjukkan suatu sistem termodinamika bertindak sebagai mesin refrigerasi. Suhu mutlak sumber (*heat source*) adalah TH dan panas yang ditransfer dari sumber merupakan efek pendinginan (beban pendinginan) QL. Di sisi lain, panas yang dibuang ke heat sink pada suhu TH adalah QH. Kedua efek dapat dicapai oleh adanya kerja W. Untuk operasi secara kontinyu, digunakan hukum pertama termodinamika.



Gambar 2.1 Tipikal Aplikasi Termodinamika pada Heat Pump

Ada beberapa komponen mekanis yang diperlukan dalam sistem refrigerasi kompresi gas. Pada bagian ini, kita membahas empat komponen utama dari sistem refrigerasi kompresi gas dan beberapa peralatan bantu yang terkait dengan komponen utama. Komponen utama ini termasuk kondensor, evaporator, kompresor, dan pipa kapiler sebagai piranti throtling pengatur liquid refrigeran.

Tugas 2.1: Pengawetan Makanan

Banyak akal dan rekayasa yang telah dibuat oleh manusia ciptaan Tuhan Yang Maha Kuasa, untuk meningkatkan kenyamanan dalam menjalani kehidupannya, khususnya upaya yang dilakukan mereka dalam rangka pengawetan makanan. Terkait dengan proses pengawetan makanan yang dilakukan oleh nenek moyang kita, coba kalian uraikan dengan lebih rinci cara-cara pengawetan makanan baik yang tradisional tanpa menggunakan peralatan khusus dan yang modern dengan menggunakan peralatan tertentu seperti kulkas yang ada di setiap rumah kalian tentunya. Untuk itu, lakukan pengamatan secara berkelompok baik melalui pembacaan buku atau literatur atau melalui wawancara dengan orangtua dan saudara-saudara kalian, atau gunakan cara lain yang menurut kalian dapat membantu mendapatkan informasi yang lebih akurat. Setelah itu diskusikan dalam kelompok kalian masing-masing, bagaimana membuat laporan secara tertulis yang memenuhi persyaratan karya tulis ilmiah.

1. Unit Refrigerator Domestik

Refrigerator domestik atau household refrigerator, merupakan peralatan rumah tangga yang digunakan untuk keperluan penyimpanan makanan dalam kurun waktu singkat (kurang lebih satu minggu) melalui proses pendinginan. Tergantung pada tipe mesin refrigerasi yang digunakan, refrigerator domestik diklasifikasikan dalam tiga tipe, yaitu kompresi (compression-type), absorpsi (absorption-type), dan thermoelectric.

Refrigerator pertama dibangun dengan sistem kompresi gas, pada tahun in 1910 di USA. Sedang refrigerator domestik dengan sistem absorpsi dibangun pada tahun 1925 di Swedia. Mesin refrigerasi domestik dengan sistem thermoelectric dibangun pada pertengahan tahun 1950. Di USSR, refrigerator domestik dengan sistem kompresi diproduksi pada tahun 1939, mesin absopsi diproduksi pada tahun 1945 dan prototipe mesin thermoelectric refrigerator, diproduksi pada tahun 1951. Produksi masal untuk refrigerator domestik dengan sistem kompresi gas dimulai tahun 1951.

Refrigerator domestik memiliki kabinet kedap udara luar. Kabinet terbuat dari pelat metal. Bagian dalamnya terbagi menjadi beberapa rak untuk penyimpanan produk makanan. Bahan isolasi panas diletakkan di antara dinding bagian dalam yang dingin dan dinding kabinet refrigerator yang terbuat dari pelat metal. Udara di

dalam kabinet cold chamber) didinginkan melalui proese pemindahan panas (kalor) antara udara dan permukaan evaporator yang dingin. Kondisi suhu di dalam kabinet dijaga konstan melalui operasi siklis dari mesin kompresi gas, yang dikontrol oleh rele thermal yang lazim disebut sebagai thermostat. Refrigerator domestik memiliki volume penyimpanan bervariasi antara 20 hingga 800 liter.

Tergantung pada pemakaiannya, refrigerator domestik dapat dibagi menjadi empat kategori, yaitu: (1) cooler, yaitu untuk keperluan penyimpanan bahan makanan yang tidak beku (unfrozen product), (2) freezer, yaitu untuk keperluan penyimpanan bahan makanan beku (frozen products) jangka pendek (hanya untuk beberapa hari), (3) Freezer, yaitu untuk keperluan penyimpanan bahan makanan beku (frozen products) jangka menengah (hingga beberapa minggu), dan deep freezer untuk keperluan penyimpanan bahan makanan beku jangka panjang (hingga tiga bulan). Pengkategorian tersebut dilakukan berdasarkan kondisi suhu kompartemennya. Untuk memudahkan konsumen dalam mengidentifikasi tipe refrigerator domestik, beberapa pabrikan menerapkan kodefikasi berdasarkan jumlah tanda bintang. Refrigerator dengan tanda satu bintang, hanya untuk keperluan penyimpanan makanan jangka pendek. Refrigerator dengan dua tanda bintang, untuk keperluan penyimpanan jangka menengah, dan refrigerator denga tiga tanda bintang, diperuntukkan penyimpanan makanan jangka panjang. Kondisi suhu pada freezer compartment untuk penyimpanan jangka pendek dijaga pada titik suhu –6°C, kondisi suhu –12°C diperuntukkan untuk penyimpanan makanan jangka menegah, dan untuk penyimpanan makanan jangka panjang kondisi suhu freezer compartment di jaga konstan mulai suhu –18°C atau lebih rendah lagi.

Lazimnya refrigerator domestic didesain dengan tiga pilihan pintu, yaitu satu pintu (single door), dua pintu (double doors), dan tiga pintu (triple doors). Refrigerator dengan satu pintu, dan dua pintu, masing-masing memiliki kombinasi dua kompartemen untuk keperluan cooler (pendinginan) dan untuk keperluan freezer (pembekuan). Cara penempatan kompartemen juga terdapat dua pipihan, yaitu terpisah secara vertikal, yakni freezer compartment diletakkan di bagian atas, dan cooler compartment diletakkan di bagian bawah kabinet. Pilihan kedua adalah pemisahan secara horizontal, yakni freezer compartment diletakkan di bagian kiri kabinet dan cooler compartment di bagian kanan kabinet..

Gambar 2.2 memperlihatkan tipikal refrigerator domestik satu pintu yang ada di pasaran. Gambar 2.3 tipikal refrigerator domestik dua pintu.



Gambar 2.2 Tipikal Refrigerator Domestik Satu Pintu

Multiple-compartment refrigerator paling tidak memiliki tiga pintu terpisah, masing-masing kompartemen didisain untuk keperluan penyimpanan berbagai makanan yang berbeda



Gambar 2.3 Tipikal Refrigerator Domestik Dua Pintu



Gambar 2.4 Tipikal Refrigerator Domestik Tiga Pintu

Dilihat dari operasi refrigerator untuk mempertahankan suhu kompartemennya, dibedakan menjadi tiga kelas, yaitu manual, semiautomatic, dan automatic defrosting. Defrosting adalah aktivitas pencairan bunga es di permukaan evaporator. Akumulasi bunga di permukaan evaporator dapat menimbulkan masalah dalam hal trnafer panas. Transfer panas dapat terganggu, sehingga efek pendinginan menjadi berkurang. Oleh karena itu secara periodik akumulasi lapisan bunga es di permukaan evaporator harus dibersihkan melalui operasi yang disebut defrosting.

Dilihat dari operasi sirkulasi udara di dalam kompartemen refrigerator, dibedakan menjadi dua, yakni sirkulasi natural (naturak convection), dan sirkulasi paksa (forced circulation) yang dibantu dengan fan. Lazimnya refrigerator mampu menjaga suhu kompartemennya tetap konstan pada titik suhu 0°F pada freezer compartment dan suhu 35°F hingga 45°F pada cooler compartment.

Pada refrigerator untuk keperluan penyimpanan jangka panjang yang didisain dengan transfer panas secara natural (sirkulasi natural), maka pada setiap kompartemen dipasang evaporator secara terpisah. Pada refrigerator dengan sirkulasi paksa, maka hanya digunakan evaporator tunggal, dan dengan bantuan fan untuk mensirkulasi udara ke setiap kompartemen. Koil evaporator dan fan biasanya dipasang di bagian bawah (lantai) freezer compartment atau kadang di dinding belakang freezer compartment. Distribusi udara dilakukan sebagai berikut, sebagian

besar udara (75–85 percent) disalurkan ke freezer compartment; sisanya disalurkan ke kompartemen lain di mana suhunya di atas titik beku, untuk keperluan pendinginan (cooler).

Pada refrigerator jenis ini, dapat dipastikan tidak akan terjadi penumpukan lapisan bunga es di dinding kompartemen dan di atas permukaan bahan makanan yang disimpan di dalamnya. Uap air (moisture) yang terkandung dalam udara akan terakumulasi menjadi bunga es pada permukaan koil evaporator yang terletak di balik dinding kompartemen. Sehingga yang masuk ke kompartemen hanya dry air. Karena koil evaporator tidak berhubungan (kontak) langsung dengan bahan makanan, maka pemanasan yang dilakukan pada permukaan koil evaporator untuk keperluan pencairan bunga es selama operasi defrosting, tidak akan berpengaruh pada suhu bahan makanan yang tersimpan di dalam frezzer compartemnt. Sehingga, dengan demikian operasi defrosting dapat dilakukan beberapa kali setiap harinya. Lazimnya operasi defros dilakukan setiap delapan jam sekali melalui pengontrolan dengan deforst timer.

Pencairan bunga es pada refrigerator domestik dilakukan dengan memasang electric heater pada permukaan koil evaporator. Operasi electric heater dikontrol oleh Defrost timer. Gambar 3.4 memperlihatkan tipikal electric deforst, sedang rangkaian defrost akan dibahas pada sistem kontrol kelistrikan.



Gambar 2.5 Electric Defrost Heater

Tugas 2.2 pengukuran Suhu Kompartemen Unit Refrigerator Domestik

Untuk lebih mendalami karakteristik unit refrigerator domestik, lakukan pemeriksaan dengan teliti kondisi suhu kompartemen untuk keperluan freezer dan suhu kompartemen untuk keperluan cooler. Sebagai obyek pengamatan, ambil refrigerator yang ada di rumah kalian masing-masing, lakukan pengukuran suhu kompartemen untuk freezer dan untuk cooler, baik pada refrigerator satu pintu dan dua pintu. Pada setiap obyek pengamatan lakukan pengukuran sebanyak dua kali pada setiap kompartemen. Sajikan data pengukuran dalam suatu tabulasi data yang menarik. Kemudian presentasikan hasil pengamatan kalian di kelas.

Model refrigerator Domestik

Refrigerator Domestik didisain dengan dua pilihan model, yakni: *stationary dan portable*. Model stationary refrigerator diklasifikasikan sebagai free-standing, wall-type, dan built-in (yaitu, dibangun berdasarkan keperluan dapur). Model portable hanya didisain untuk absorption-refrigerator dan thermoelectric refrigerator. Sebagai tambahan, absorption-type refrigerators diklasifikasikan menurut energi yang digunakan, yaitu, tenaga listrik, bahan bakar gas, minyak tanah, atau tipe kombinasi.

Saat ini, hampir semua tipe refrigerator domestik (90%) dimanufaktur dengan sistem kompresi, manufaktur denga sistem absorpsi hanya sekitar 5-10% dari produksi total. Sebagai bahan perbandingan, ukuran dimensional sistem absorpsi lebih besar dan lebih berat dibandingkan sistem kompresi. Komsumsi energi listrik lebih boros dibandingkan sistem kompresi (kisaran 1.5–2 kali), dan volume freezer compartment juga lebih kecil. Thermoelectric refrigerators tidak banyak digunakan, karena mahalnya biaya konstruksi dan kebutuhan daya yang lebih besar dibandingkan dengan sistem kompresi. Lazimnya thermoelectric refrigerators hanya memiliki volume hingga 60 liter.

2. Komponen utama Unit Refrigerator Domestik

Komponen utama dari unit refrigerator domestik yang dibangun dengan sistem kompresi adalah kompresor, kondensor, evaporator, Filter dryer dan pipa kapiler. Gambar 3.5 memperlihatkan bentuk komponen utama dan asesoris yang digunakan pada unit refrigerator domestik dengan sistem kompresi.



Gambar 2.6 Komponen Utama dan Asesori Unit Refrigerator Domestik

Dalam pemilihan komponen untuk sistem pendingin, ada sejumlah faktor yang perlu dipertimbangkan dengan hati-hati, yaitu:

• mempertahankan efek refrigerasi untuk mengatasi variasi perubahan beban dari 0 sampai 100%;

• mengontrol akumulasi bunga es untuk mempertahankan kinerja yang berkesinambungan;

• variasi dalam afinitas oli refrijeran yang disebabkan oleh perubahan suhu yang besar, dan berkurangnya oli di dalam crankcase kompresor;

• pemilihan media pendingin: (i) direct expansion refrigerant, (ii) gravity atau pump recirculated atau flooded refrigerant, or (iii) secondary coolant (brines, e.g., salt and glycol);

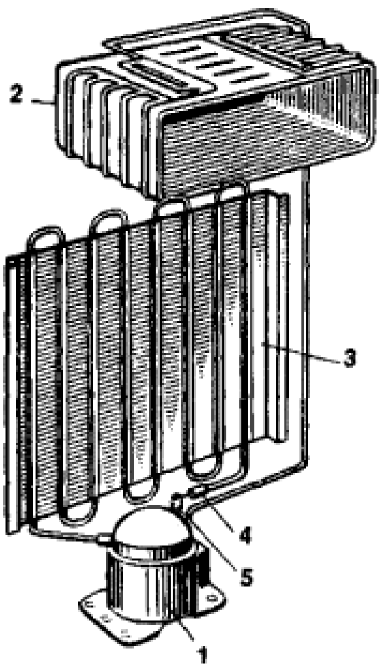
• efisiensi sistem dan pemeliharaan;

• jenis kondensor: air cooled, water cooled, atau evaporative;

• desain kompresor (hermetic, semi hermetic, open type, reciprocating, screw, atau rotary);

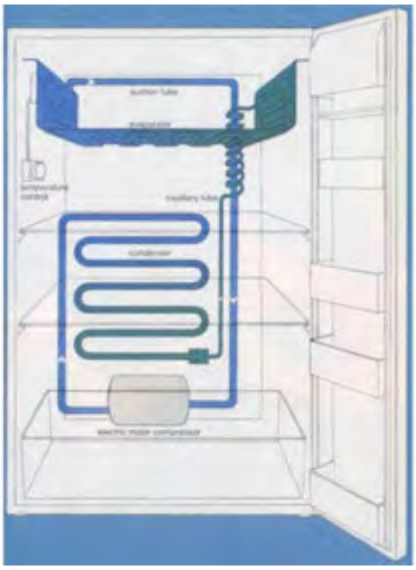
• pemilihan refrijeran (perhatikan bahwa tipe refrijeran pada dasarnya dipilih berdasarkan suhu dan tekanan operasi).

Gambar 2.7 memperlihatkan konfigurasi komponen utama pada suatu unit refrigerasi domestik. Bagian 2 menunjukkan posisi kompresor, bagian 2 menunjukkan evaporator, bagian 3 menunjukkan kondensor, bagian 4 menunjukkan posisi filter dryer, dan bagia 5 menunjukkan pipa kapiler. Unit refrigerasi domestik didesain khusus untuk pengawetan makanan skala rumah tangga. Bagian kabinet terbagi menjadi dua bagian, yaitu freezer untuk keperluan pembekuan terletak di bagian atas kabinet, dan refrigerator untuk keperluan pendinginan terletak di bagian bawah



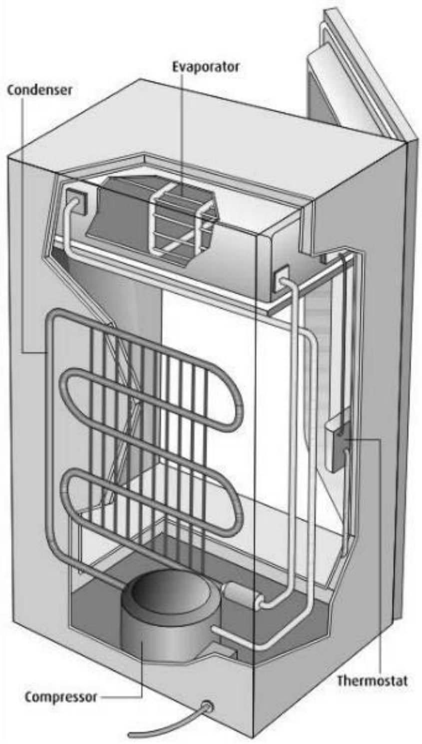
Gambar 2.7 Komponen Utama Sistem Refrigerasi Domestik

Gambar 2.8 memperlihatkan peletakan komponen utama dalam kabinet refrigerator satu pintu



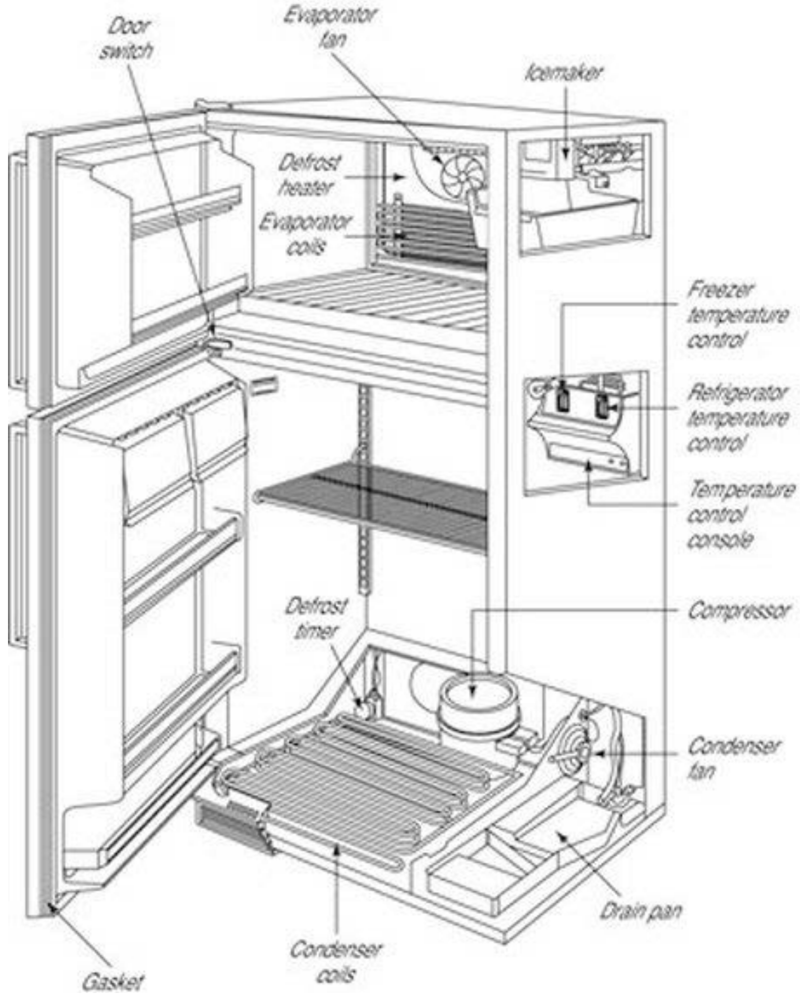
Gambar 2.8 Konfigurasi Peletakan Komponen Utama dalam Kabinet

Gambar 2.9 memperlihatkan konfigurasi instalasi pemipaan komponen utama dalam kabinet pada refrigerator dengan satu pintu.



Gambar 2.9 Konfigurasi Peletakan Komponen Utama dalam Kabinet

Gambar 2.10 memperlihatkan konfigurasi instalasi pemipaan komponen utama dalam kabinet pada refrigerator dengan dua pintu.



Gambar 2.10 Konfigurasi Pemipaan Komponen Utama Unit refrigerator dua Pintu

Tugas 2.3 Siklus refrigerasi

Setelah kalian mengakaji konfigurasi pemipaan komponen utama unit refrigerasi domestik, tentunya akan timbul dalam benak kalian, bagaimana efek pendinginan yang diperoleh secara terus menerus melalui kerja kompresor. Untuk diskusikan dengan teman sekelompok, bagaimana proses pendinginan yang berlangsung pada unit refrigerasi domestik? Presentasikan hasil diskusi kalian di kelas. Paran harus disertai gambar ilustrasi yang dapat memperjelas permasalahnnya.

1. Kompresor

Dalam siklus refrigerasi, kompresor memiliki dua fungsi utama yaitu memompa gas refrijeran dari evaporator sehingga suhu dan tekanan yang diperlukan dapat dijaga di evaporator. Fungsi kedua adalah untuk menaikkan tekanan gas refrijeran melalui proses kompresi, dan secara simultan menaikkan suhu gas. Melalui perubahan tekanan ini superheated refrijeran mengalir di dalam sistem.

Kompresor refrigerasi yang lazim disebut sebagai jantungnya sistem refrigerasi kompresi gas, dapat dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu:

- *displacement compressor dan*
- *dynamic compressor*.

Catatan, baik *displacement and dynamic compressors* dapat dirancang secara *hermetic, semihermetic, atau open types*.

Kompresor memompa refrijeran di dalam sirkit refrigerasi dan menghasilkan peningkatan tekanan refrijeran sesuai yang diperlukan. Refrijeran yang dipilih dan kisaran suhu operasi yang diperlukan akan menentukan jenis kompresor yang digunakan. Dalam siklus refrigerasi dikenal dengan refrijeran positif dan refrijeran negatif. Refrijeran positif beroperasi dengan tekanan kerja di atas tekanan atmosfir, sedang refrijeran negatif, beroperasi dengan tekanan kerja di bawah tekanan atmosfir.

Kompresor dengan positive displacement dicirikan dengan reciprocating piston, umumnya digunakan untuk refrijeran positif. Jenis lain yang memiliki positive displacement adalah rotating vanes atau cylinder atau intermeshing screw.

Reciprocating compressor merupakan mesin dengan positive displacement, dapat digunakan untuk semua aplikasi. Efisiensi sistem katub telah ditingkatkan secara signifikan pada model yang lebih besar. Pengontrolan kapasitas kompresor digunakan sistem cylinder unloading (yaitu sebuah cara yang mereduksi konsumsi daya sesuai beban yang dipikulnya).

Kriteria Pemilihan kompresor

Dalam memilih jenis kompresor ada empat kriteria yang harus dipertimbangkan, yaitu :

- *refrigeration capacity,*
- *volumetric flow rate,*
- *compression ratio, dan*
- *thermal and physical properties*

Keempat masalah tersebut akan dibahas lebih rinci pada semester genap.

Hermetic Compressor

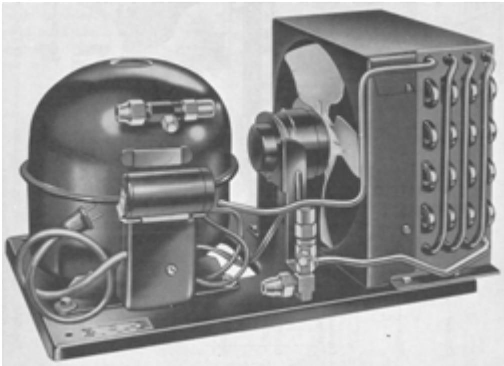
Kompresor lebih disukai yang memiliki keandalan terutama untuk keperluan dengan rentang suhu lebih kecil yang diperlukan pada aplikasi tata udara atau aplikasi pendinginan. Dalam peralatan kecil di mana biaya merupakan faktor utama dan instalasi di tempat menjadi minimum, maka sistem hermetik labih layak digunakan. Pada sistem hermetik komponen internal tidak dapat diakses untuk pemeliharaan.



Gambar 2.11 Tipikal Kompresor Hermetik

Kompresor hermetik disediakan untuk memenuhi sistem refrigerasi dan tata udara kapasitas kecil, motor penggerak dan kompresor diletakkan dalam rumahan tertutup rapat kedap udara secara kompak. Refrijeran dan oli refrijeran tersimpan dalam rumahan, sehingga refrijeran dan oli kompresor mengenai belitan motor. Hampir semua pasangan motor kompresor yang digunakan dalam lemari es, freezer, dan AC untuk keperluan rumah tangga adalah tipe hermetik. Gambar 2.11 memperlihatkan

tipikal kompresor hermetik. Kapasitas kompresor hermetik dapat diidentifikasi diidentifikasi dengan kapasitas motor penggeraknya. Misalnya, kapasitas kompresor berkisar dari 1/12 HP hingga 5 HP, dengan putaran per menit 1450 atau 2800 rpm. Kompresor Hermetik dapat bekerja untuk waktu yang lama dalam sistem pendingin berkapasitas kecil tanpa persyaratan pemeliharaan dan tanpa kebocoran gas, tetapi mereka sensitif terhadap fluktuasi tegangan listrik, yang dapat membuat isolasi kumparan rusak dan terbakar. harga kompresor ini relatif lebih murah. Gambar 2.12 menunjukkan dua tipikal condensing unit berpendingin udara menggunakan kompresor hermetik.



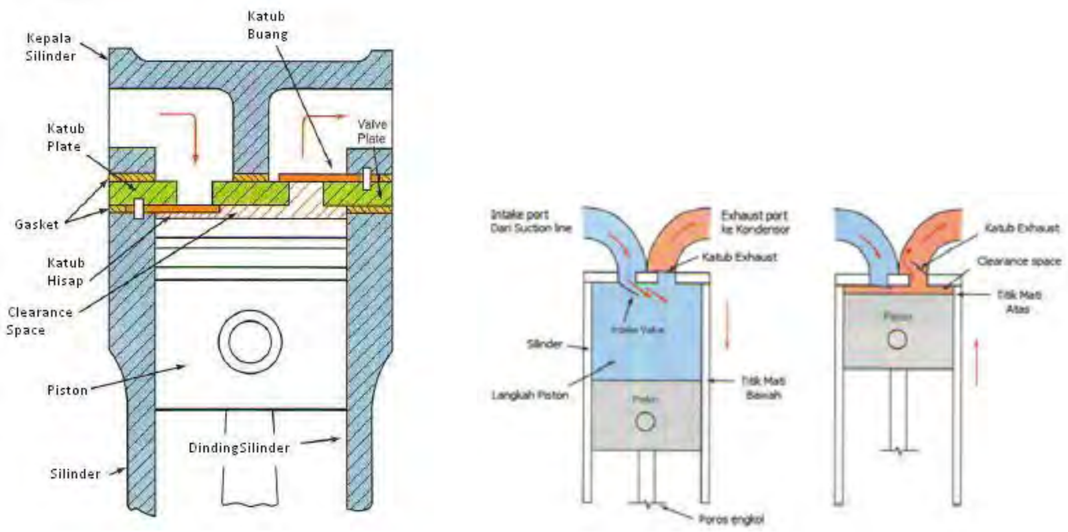
Gambar 2.12 Kondensing Unit dengan Kompresor Hermetik

Displacement Compressor

Keluarga kompresor ini menggunakan kerja poros untuk menaikkan tekanan refrijeran dengan menurunkan volume kompresi di dalam suatu ruang (*chamber*). Kelompok kompresor ini adalah *reciprocating, vane (rotary), dan screw (helical rotary) compressor.*

Reciprocating Compressor

Sebagian besar kompresor resiproksi yang memampatkan gas refrijeran hanya pada gerakan maju piston dibangun dengan aksi tunggal dalam berbagai rentang kapasitas yang besar, hingga ratusan kilowatt.

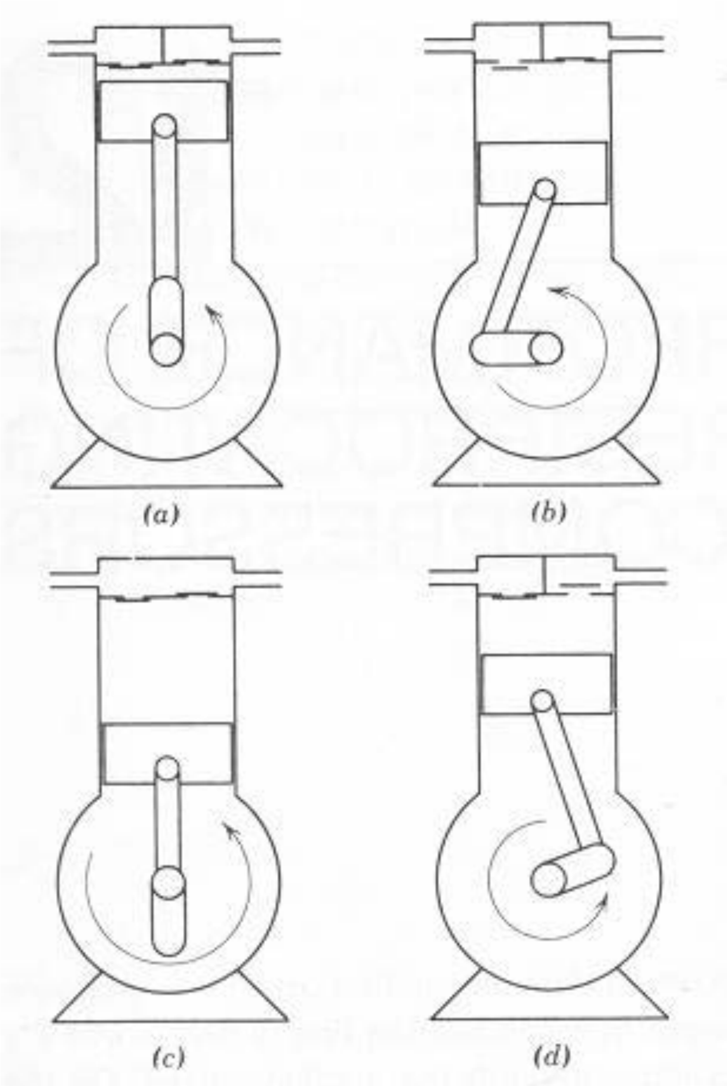


Gambar 2.13 Kompresor Piston (Reciprokasi)

Operasi Piston dan Siklus Diagram

Sesuai dengan namanya, kompresor ini menggunakan torak atau piston yang diletakkan di dalam suatu tabung silinder. Piston dapat bergerak bebas turun naik untuk menimbulkan efek penurunan volume gas yang berada di bagian atas piston. Di bagian atas silinder diletakkan katub yang dapat membuka dan menutup karena mendapat tekanan dari gas. Gambar 2.13 memperlihatkan hubungan antara posisi piston (torak) dengan operasi katub-katub kompresor (katub hisap dan katub tekan). Katub kompresor yang digunakan pada kompresor refrigerasi lebih cenderung ke: Pressure Actuated daripada ke : Mechanical Actuated.

Perhatikan lagi gambar 2.14 tentang siklus operasi kompresor torak. Pergerakan katub-katub kompresor baik katub pada sisi tekanan rendah (suction) dan katub pada sisi tekanan tinggi (discharge) semata-mata dipengaruhi oleh variasi tekanan yang bekerja pada kedua sisi tekanan tersebut.



Gambar 2.14 Siklus Operasi Kompresor

Gambar 2.14 a, torak pada posisi titik mati atas, kedua katub menutup, karena tekanan pada ruangan silinder sama dengan tekanan discharge.

Gambar 2.14 b, saat piston mencapai posisi tertentu di mana tekanan pad ruang silinder lebih rendah dari pada tekanan suction, maka katub hisap akan membuka, dan refrijeran masuk ke ruang silinder.

Gambar 2.14 c, piston mulai bergerak dari titik mati bawah, bila tekanan ruang silinder lebih besar dari pada dengan tekanan suction maka katub hisap menutup.

Gambar 2.14 d, Ketika piston mencapai posisi tertentu, tekanan ruang silinder lebih besar dari tekanan discharge, maka katub tekan membuka,menyalurkan refrijeran ke condenseor.

Bandingkan sistem kompresi pada silinder motor bensin. Pergerakan katub-katubnya lebih ke mechanical actuated daripada pressure actuated. Demikian pula pada sistem kompresi kompresor udara biasa. Jadi katub kompresor refrigerasi memang berbeda dengan katub kompresor pada umumnya dilihat dari actingnya. Oleh karena itu ada tuntutan khusus yang harus dipenuhi oleh katub kompresor refrigerasi.

Compressor Displacement

Compressor Displacement adalah istilah yang diberikan untuk menentukan jumlah gas refrigeran yang dapat dikompresi dan dipindahkan oleh torak pada saat toraknya melangkah dari BDC ke TDC. Secara matematis ditulis :

$$\mathbf{Vp = \pi R^2 LN\ n}$$

Di mana : Vp : Compressor displacement
R : Jari-jari piston
L : Langkah Piston
N : Jumlah piston
n : putaran per detik

Perbandingan Kompresi

Faktor lain yang berpengaruh terhadap efisiensi volumetrik adalah hubungan antara tekanan suction dan tekanan discharge. Untuk memperoleh efek refrigerasi yang memuaskan, maka suhu evaporasi dan suhu kondensasi harus dijaga pada tingkatan tertentu. Seperti diketahui bahwa suhu evaporasi dan suhu kondensasi berbanding lurus dengan tekanan suction dan tekanan discharge. Selanjutnya perbandingan tekanan discharge dan tekanan suction secara absolut disebut perbandingan kompresi.

$$\textbf{Perbandingan Kompresi (Rc)} = \frac{\text{Tekanan Discharge (absolut)}}{\text{Tekanan Suction (absolut)}}$$

Pengaruh perbandingan kompresi terhadap efisiensi volumetrik diberikan dalam tabel 2.1

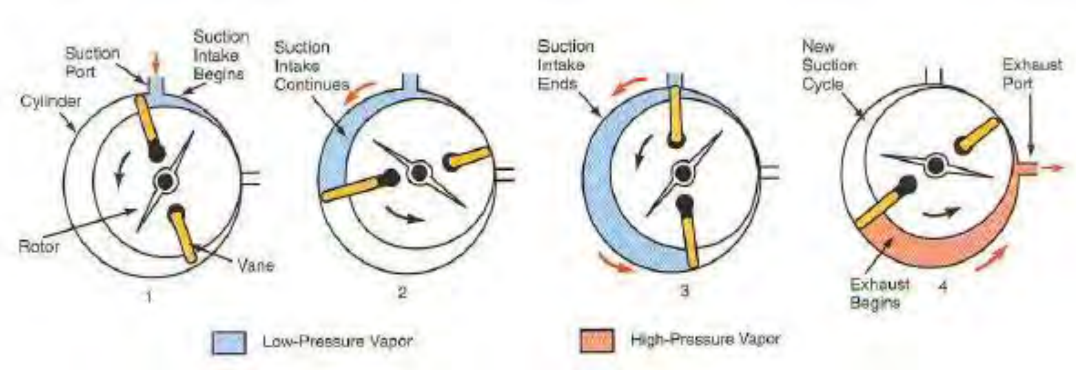
Tabel 2.1 Efisiensi Volumetrik

Perbandingan Kompresi	Efisiensi Volumetrik
2	87.3
2,2	86
2,4	84,9
2,6	83,5
2,8	82
3	80,8
3,2	79,5
3,4	78,3
3,6	77,2
3,8	76
4	74,9
4,2	73,7
4,4	72,5
4,6	71,3
4,8	70,1
5	69,0
6	63,3
7	58,2
8	53,5
9	49,0
10	44,9

Rotary Compressor

Pada kenyataanya, rotary compressor memiliki empat disain konfigurasi, yaitu: (i) *rolling piston, (ii) rotating vane, (iii) screw, and (iv) scroll*. Sehingga, rotary compressor memiliki gerakan rotary atau circular sebagai pengganti gerakan maju-mundur (*reciprocating*). Mereka beroperasi pada rotor yang berputar pada suatu poros eksentrik. Gas masuk melalui ruangan antara between rotor dan cylinder melewati port suction. Gas dikompresi ketika rotor berputar secara esentrik di dalam silinder.

Discharge port terletak di sisi seberangnya melepaskan udara bertekanan tinggi. Ada dua tipe yang umumdigunakan pada *rotary compressor*, yaitu *rolling piston-type* dan *rotating-vane-type*. Keduanya memiliki kesamaan dalam aplikasi, ukuran dan performansinya. *Rotary compressor* digunakan pada *domestic refrigeration* dan sangat sesuai untuk aplikasi di mana diperlukan sirkulasi volumes gas refrijeran dalam jumlah besar dan di mana diperlukan *compression ratio* rendah. Pada kenyataannya, kompresor ini bekerja sebagai *positive displacement pump*.



Gambar 2.15 Kompresor Rotari

Kapasitas dan performansi Kompresor

Kapasitas dan performansi kompresor dapat ditentukan berdasarkan berapa banyak aliran yang mereka hasilkan pada rasio tertentu antara tekanan inlet dan outlet (rasio kompresi). Jumlah aliran refrijeran merupakan fungsi dari ukuran kompresor (misalnya, jumlah silinder dan volume langkah piston untuk kompresor (*reciprocating*) dan kecepatan operasi (rpm). Jadi performansi kompresor

dipengaruhi oleh kecepatan kompresor, suhu dan tekanan suction, suhu dan tekanan discharge, serta jenis refrijeran dan jumlah aliran yang diperlukan.

Rasio Kompresi

Rasio kompresi didefinisikan sebagai perbandingan tekanan discharge dibagi dengan tekanan hisap (dalam satuan tekanan absolut, Pa atau kPa). dan Efisiensi volumetrik yang besarnya tergantung dari clearance volume. Sebagai contoh, pada rasio kompresi dari 3 ke 1, 82% dari volume kompresor berguna. Jadi jika efek refrigerasi memerlukan 10 cfm aliran gas refrijeran dari evaporator, kompresor akan memproduksi 10/0,82 atau 12,2 cfm.

Ratio kompresi didefinisikan sebagi perbandingan discharge pressure dengan suction pressure pada kondisi saturasi, dinyatakan dalam satuan absolut. Secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut:

$$CR = \frac{Pd}{Ps}$$

Di mana CR adalah rasio kompresi, *P*d adalah tekanan discharge dalam satuan tekana absolut, dan *P*s adalah tekanan suction dalam satuan tekanan absolut.

2. Kondensor

Kondensor meruapakan alat penukar kalor pada sisi tekanan tinggi. Di mana gas panas lanjut refrijeran harus diturunkan suhunya hingga mencapai titik embunnya sehingga berubah menjadi liquid refrigeram, melalaui proses penukaran kalor dengan media pendinginan. Ada beberapa jenis kondensor yang dapat dipertimbangkan penggunaannya jika akan menentukan pilihan untuk aplikasi tertentu. Jenis kondensor yang biasa digunakan adalah aircooled, water-cooled, shell and tube, shell and coil, tube in tube, dan evaporative condenser. Setiap jenis kondensor memiliki sifat unik. Beberapa sangat tergantung kondisi setempat, misalnya ukuran dan berat unit, kondisi cuaca, lokasi (desa atau kota), ketersediaan tenaga listrik, dan ketersediaan air pendingin.

Pemilihan kondensor tergantung pada kriteria berikut:

- Kapasitas kondensor
- Suhu dan tekanan kondensasi,

• Jumlah refrijeran yang disrikulasikan dan sistem pendinginannya,
• disain suhu media pendingin refrijeran (udara atau air),
• Periode operasi sistem, dan
• kondisi cuaca.

Air-Cooled Condeser

Air-cooled condenser banyak dijumpai pada aplikasi refrigerasi domestic, commercial, dan industrial, chilling, freezing, dan sistem tata udara (air-conditioning system) dengan kapasitas antara 20−120 ton (gambar 2.8). *Centrifugal fan air-cooled condenser* (dengan kapasitas 3−100 ton) digunakan secara khusus untuk aplikasi *heat recovery dan auxiliary ventilation*. Kenyataanya, *air-cooled condenser* menggunakan udara sekitarnya sebagai cooling medium.



Gambar 2.16 Static Condenser

Keuntungan *air-cooled condense*r antara lain:
• tidak memerlukan ketersediaan air,
• *standard outdoor installation*,
• terhindar dari *freezing, scaling, and corrosion problem,*
• terhindar dari instalasi *water piping, circulation pump, dan water treatment*,
• biaya instalasi rendah, dan

• lpersyaratan service dan maintenance rendah.

Di lain pihak, *air-cooled condenser* juga memiliki kekurangan sebagai berikut:

• suhu kondensing tinggi,

• boaya refrijeran tinggi, karena melewati instalasi pipa cukup panjang

• konsumsi daya per *kW cooling* tinggi ,

• kebisingan tinggi, dan

• *multiple unit memerlukan large-capacity system*.

3. Evaporator

Evaporator merupakan alat penukar kalor pada sisi tekanan rendah. Di mana liquid refrijeran super dingin (*subcooled)* harus dinaiikan suhunya hingga mencapai titik uapnya sehingga berubah menjadi gas refrijeran, melalaui proses penukaran kalor dengan produk atau media yang didinginkan. Ada beberapa jenis evaporator yang dapat dipertimbangkan penggunaannya jika akan menentukan pilihan untuk aplikasi tertentu.

Ada berbagai jenis evaporator sebagai alat utama panukar kalor dalam sistem refrigerasi kompresi uap. Secara umum dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu: (i) *direct cooler evaporator* yang langsung mendinginkan udara dan sekaligus mendinginkan produk, dan (ii) *indirect cooler evaporator* yang mendinginkan air (*chiling water*) dan *chilling water* ini digunakan untuk mendinginkan udara ruang atau produk tertentu. Pada sistem refrigerasi domestik, lazim digunakan direct cooler evaporator.



Gambar 2.17 Tipikal Evaporator tipe Direct Cooler

4. *Throttling Device*

Pada praktek nyata, *throttling device* digunakan untuk menurunkan tekanan kondensasi (sisi tekanan tinggi) ke tekanan evaporasi (sisi tekanan rendah) melalui operasi pencekikan (*throttling operation)* dan mengatur laju aliran liquid-refrijeran ke evaporator sesuai dengan karakteristik alat dan beban.

Jumlah liquid refrijeran yang masuk ke koil pendingin tergantung pada jumlah panas yang harus diserap dari ruang atau area yang didinginkan.

Jenis katub ekspansi yang sering digunakan adalah:

- *thermostatic expansion valve,*
- *constant-pressure expansion valve,*
- *float valve, dan*
- *capillary tube*.

Pipa Kalpiler

Pipa kapiler merupakan piranti pengontrollaju aliran liquid refrijeran yang paling sederhana dan dapat melakukan operasi throtling. Pipa kapiler memiliki diameter kecil di mana liquid refrijeran dialirkan ke evaporator. Pipa kapiler digunakan pada sistem refrigerasi kompresi uap berskala rendah hingga 30 kW. Pipa kapiler menurunkan tekanan kondensing ke tekanan evaporasi melalui pipa tembaga yang memiliki diamter kecil (0.4–3 mm diameter dengan panjang antara 1.5–5 m), menjaga tekanan evaporasi konstan tidak tergantung pada perubahan beban. Pipa kapiler juga sering difungsikan sebagai bagian dari heat exchanger, khususnya pada aplikasi sistem refrigerasi untuk keperluan domestik.

Disamping piranti utama seperti yang telah dibahas, sistem refrigerasi masih diperlangkapi dengan berbagai piranti bantu yang fungsinya cukup strategis dalam mencipotakan operasi sistem yang optimal.

5. *Strainer*

Strainer berfungsi sebagai penyaring benda asing, metal chip dan kotoran yang ada di dalam saluran refrijeran. Jika tertinggal di dalam system, sesuatu yang tidak diinginkan dapat terjadi yaitu menutup lubang orifice pada piranti pengatur refrijeran (katub ekspansi) dan pada *check valve* serta masuk ke kompresor. Berbagai jenis

strainer tersedia di pasaran seperti *straight-through sealed type, cleanable angle type, and the cleanable Y type.*



Gambar 2.18 Filter & Drier

Pada sistem refrigerasi, adanya uap air di dalam sistem menjadi faktor tunggal yang paling berbahaya. Sebuah unit refrigerasi dapat bertahan beroperasi dengan layak jika jumlah uap air di dalam sistem sangat sedikit. Oleh karena itu, seluruh unit refrigerasi dilengkapi dengan *drier*. Pemilihan *drier t*ergantung pada beberapa hal, antara lain:

- jenis dan jumlah refrijeran,
- refrigeration sistem tonase,
- ukuran pipa, dan
- rugi tekanan yang diijinkan.

Jika jenis refrijeran, ukuran pipa, dan aplikasi unit refrigerasi diketahui, maka drier dapat dipilih berdasarkan kapasitas yang direkomendasikan, dan jumlah refrijeran.

6. *Defrost Controller*

Akumulasi bunga es (*frost*) di permukaan evaporator dapat menggangu proses trnasfer panas antara refrijeran dengan udara atau produk yang didinginkan. Oleh karena itu perlu dilengkapi dengan sistem untuk mencairkan bunga es (*deforst)*. *Defrost* dikontrol melalui *timer*. Untuk sistem refrigerasi domestik operasi pencairan bungan es dilakukan dengan menggunakan electric defrost yang dikontrol oleh timer.



Gambar 2.19 Tipikal Electric Defrost

7. Siklus Refrijerasi Sistem Kompresi Uap

Peralatan refrigerasi dan tata udara komersial menggunan sistem refrigerasi kompres uap. Efek refrigerasi kompresi uap diperoleh dengan cara menguapkan liquid refrijeran yang ditempatkan di dalam refrijerator. Pada tekanan atmosfir (1,0132 bar), Refrijeran (R134a) yang ramah lingkungan mengalami kondisi saturasi pada suhu -29,8^{o}C. Penguapan pada suhu rendah ini, menyebabkan refrijeran dapat menyerap panas udara ruang dengan cepat. Panas yang diserap melalui penguapan liquid refrijeran akan dibuang keluar ruang melalui lubang angin oleh gas refrijeran. Efek pendinginan akan berlangsung terus hingga liquid refrijeerannya habis. Kontainer yang digunakan untuk menyimpan liquid refrijeran disebut evaporator. Evaporator adalah salah satu bagian penting dalam sistem refrijerasi kompresi mekanikal.

Suhu penguapan refrijeran cair di dalam evaporator dapat diatur dengan mengontrol tekanan refrijeran gas yang berada dibagian atas refrijeran cair, atau dengan kata lain mengontrol laju kecepatan refrijeran gas yang keluar dari evaporator melalui katub pengontrol.

Tipikal Sistem Kompresi Gas

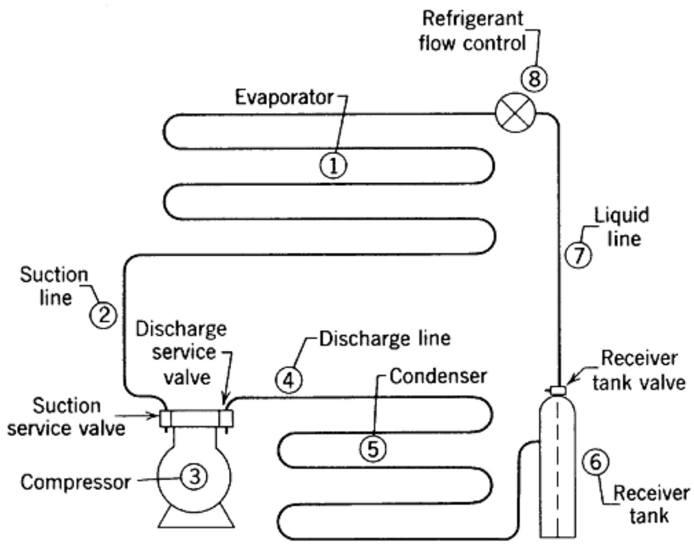
Sistem Kompresi Gas merupakan mesin refrijerasi yang berisi fluida penukar kalor (refrijeran) yang bersirkulasi terus menerus. Selama bersirkulasi di dalam unitnya maka refrijeran tersebut akan selalu mengalami perubahan wujud dari gas ke liquid dan kembali ke gas. Proses tersebut berlangsung pada suhu dan tekanan yang berbeda, yaitu tekanan tinggi dan pada tekanan rendah. Tekanan tinggi diperoleh

karena adanya efek kompresi, yang dikerjakan oleh kompresor. Oleh karena itu sistem refrijerasi ini lazim disebut sebagai sistem kompresi gas

Gambar 2.12 memperlihatkan diagram alir suatu sistem kompresi gas sederhana. Sesuai dengan proses yang terjadi di dalam siklus refrijeran maka sistem refrigerasi kompresi gas mempunyai 4 komponen utama yang saling berinteraksi satu sama lain, yaitu: Evaporator untuk proses evaporasi liquid refrijeran. Kompresor untuk meningkatkan tekanan gas refrijeran. Kondenser untuk proses kondensasi gas refrijeran. Katub ekspansi untuk menurunkan tekanan liquid refrijeran yang akan di masuk ke evaporator. Adanya gangguan pada salah satu komponen dapat menggagalkan efek refrigerasi.

Evaporator (1), menyediakan transfer panas melalui luas permukaannya, sehingga panas yang terkandung di udara dan produk makanan yang ada di dalam ruang dapat diserap oleh penguapan refrijeran cair yang mengalir di dalam koil evaporator. Suction line (2) adalah saluran yang terletak pada sisi tekanan rendah kompresor, untuk menyalurkan refrijeran gas bertekanan rendah dari evaporator menuju ke katub hisap kompresor.

Compressor (3) merupakan jantung sistem refrijerasi kompresi gas, berfungsi menghisap refrijeran gas dari evaporator dan menaikkan suhu dsn tekanan refrijeran ke suatu titik di mana refrijeran gas akan mengembun dengan mudah pada kondisi normal media kondensasinya. Discharge line (4) adalah saluran yang terletak pada sisi tekanan tinggi kompresor, untuk menyalurkan refrijeran gas bertekanan dan bersuhu tinggi dari katub tekan kompresor menuju ke kondensor.



Gambar 2.19 Tipikal Sistem refrigerasi Kompresi Gas

Condensor (5) menyediakan transfer panas melalui luas permukaannya, sehingga energi panas yang yang terkandung dalam refrijeran dapat dipindahkan ke media kondensasi. Receiver Tank (6), sebagai tempat penyimpanan atau pengumpulan refrijeran cair yang sudah mengembun di kondensor, sehingga catu refrijeran cair ke evaporator dapat dijaga konstan sesuai keperluan. Liquid line (7) adalah saluran yang terletak pada sisi masuk katub ekspansi, untuk menyalurkan refrijeran cair dari receiver tank ke refrijeran control. Refrijeran control (8) berfungsi untuk mengatur jumlah refrijerant cair yang akan diuapkan di evaporator dan untuk menurunkan tekanan refrijeran cair yang masuk ke evaporator, sehingga refrijeran cair dapat diuapkan pada suhu rendah sesuai yang diinginkan.

Pembagian Sistem Tekanan Operasi

Sesuai dengan tekanan operasi pada sistem bekerja, Sistem refrijerasi kompresi gas dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian sisi tekanan rendah dan sisi tekanan tinggi. Sisi tekanan rendah meliputi evaporator, katub ekspansi dan saluran sucton. Tekanan yang diterima oleh refrijeran yang berada pada sisi ini adalah tekanan rendah, di mana refrijeran akan menguap di evaporator. Tekanan pada sisi ini lazim disebut sebagai tekanan evaporasi, tekanan suction dan tekanan

balik. Pada saat dilakukan pekerjaan service, tekanan rendah ini biasanya diukur dengan menggunakan *compound gauge* yang dipasang pada *suction service valve*.

Sedang sisi tekanan tinggi,mencakup kompresor, kondensor, saluran gas panas dan *receiver tank*. Tekanan yang diterima oleh refrijeran yang berada pada sisi ini adalah tekanan tinggi, di mana refrijeran akan mengembun di kondenser. Tekanan pada sisi ini lazim disebut sebagai tekanan kondensasi, *discharge pressure dan head pressu*re. Pada saat dilakukan pekerjaan *service*, tekanan tinggi ini biasanya diukur dengan menggunakan pressure gauge yang dipasang pada *discharge service valve (dsv)*

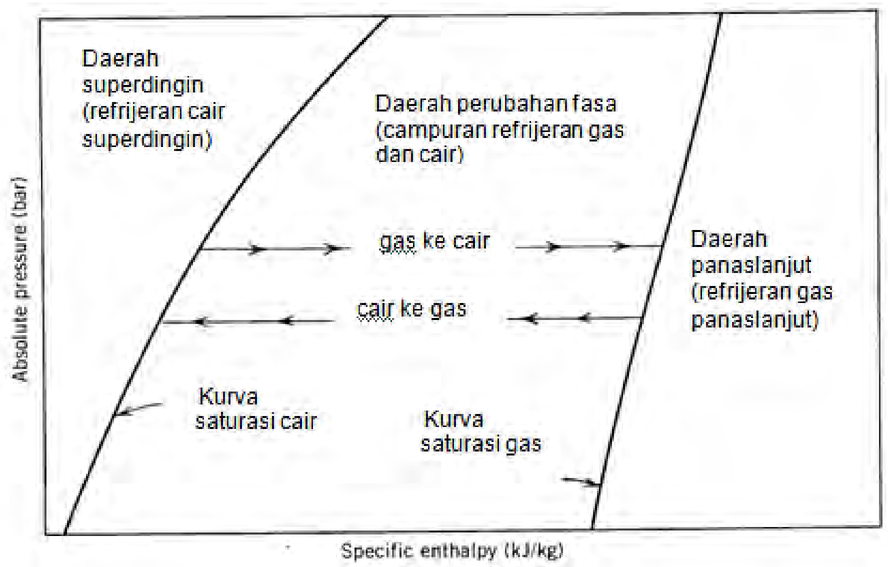
Titik pembagi antara tekanan tinggi dan tekanan rendah adalah katub ekspansi, di mana tekanan refrijeran akan diturunkan dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi.

PH-Diagram

Untuk dapat lebih mendalami pengetahuan tentang mesin refrigerasi kompresi gas diperlukan studi yang lebih intensif tidak hanya proses individual yang menghasilkan suatu siklus tetapi juga tentang hubungan antara berbagai proses yang terjadi, dan efek yang ditimbulkan oleh perubahan satu proses terhadap proses lainnya di dalam siklus. Misalnya, perubahan pada proses kompresi, pasti akan berpebgaruh terhadap proses kondensasi, ekspansi dan evaporasi. Untuk memahami hubungan antar proses tersebut digunakan suatu chart dan diagram untuk memperlihatkan siklus lengkap secara grafikal.

Representasi secara grafikal tentang siklus refrijrasi ini memungkinkan kita untuk dapat mempertimbangkan secara simultan semua perubahan yang dapat terjadi pada refrijeran dan akibat yang dapat ditimbulkannya selama proses berlangsung.

Diagram yang sering digunakan dalam menganalisa siklus refrijerasi adalah diagram tekanan versus entalpi atau lazim disebut sebagai ph Diagram.

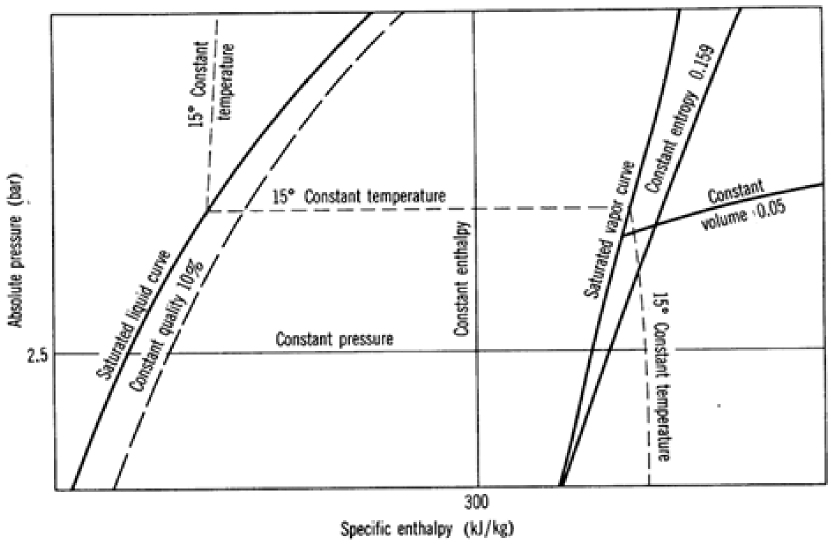


Gambar 2.20 Pemetaan tiga daerah penting pada ph Diagram

Pressure-enthalpy chart atau lazim disebut *ph chart* adalah diagram yang menampilkan kondisi refrijeran dalam berbagai status termodinamik sebagai titik atau garis yang dipetakan pada *ph diagram*. Titik pada ph dagram yang menampilkan kondisi refrijeran pada satu status termodinamik dapat dipetakan bila ada 2 sifat refrijeran yang diketahui. Begitu status titik sudah terpetakan, maka sifat lainnya dapat ditentukan pada diagram. Gambar 2.21 memperlihatkan peta ph diagram. Peta ph diagrarm tersebut memetakan 3 pembagian daerah yang dipisahkan oleh kurva saturasi cair dan kurva saturasi gas, yaitu daerah saturasi (*saturated region*), superdingin (*subcooled region*) dan panas lanjut (*superheated region*).

Daerah tengah yang dibatasi oleh kurva saturasi cair (*saturated liquid curve*) dan kurva saturasi gas (*saturated vapor curve*) disebut daerah saturasi. Pada daerah ini refrijeran mengalami perubahan fasa. Perubahan fasa dari cair ke gas berlangsung secara progresif dari arah kiri ke kanan dan perubahan dari gas ke cair, berlangsung secara progresif dari arah kanan ke kiri. Tepat pada garis kurva saturasi cair maka wujud refrijerannya adalah cair. Begitu juga tepat pada garis kurva saturasi gas, maka wujud refrijerannya adalah gas. Tepat ditengah daerah saturasi, merupakan daerah campuran antara refrijeran gas dan cair dengan perbandingan sama. Pada daerah yang dekat dengan garis kurva saturasi cair, persentasi cairan lebih banyak dari pada gas. Begitu sebaliknya, pada daerah dekat garis saturasi gas, persentasi gas

lebih banyak dibandingkan refrijeran cair. Perbandingan jumlah refrijeran cair dan gas ini ditunjukkan dengan garis skala yang disebut garis *constant quality.*



Gambar 2.21 Pemetaan tekanan dan suhu konstan serta entalpi pada ph-chart

Garis *constant quality* ini membentang dari atas ke bawah melalui bagian tengah chart dan hampir parallel dengan garis saturasi cair dan gas. Pada gambar 2.24 telah terpetakan garis *constant quality* 10%. Sebagai contoh, setiap titik pada garis constant quality dekat dengan garis saturasi cair, maka kualitas campuran refrijeran cair dan gas adalah 10%. Artinya, 10% masa refrijeran berpa gas dan 90% masa refrijeran berupa cairan atau liquid. Demikian juga untuk garis lainnya sama. Misalnya garis *constant quality* yang berada di dekat garis saturasi gas adalah 90%. Artinya, 90% masa refrijeran berupa gas dan 10% berupa liquid.

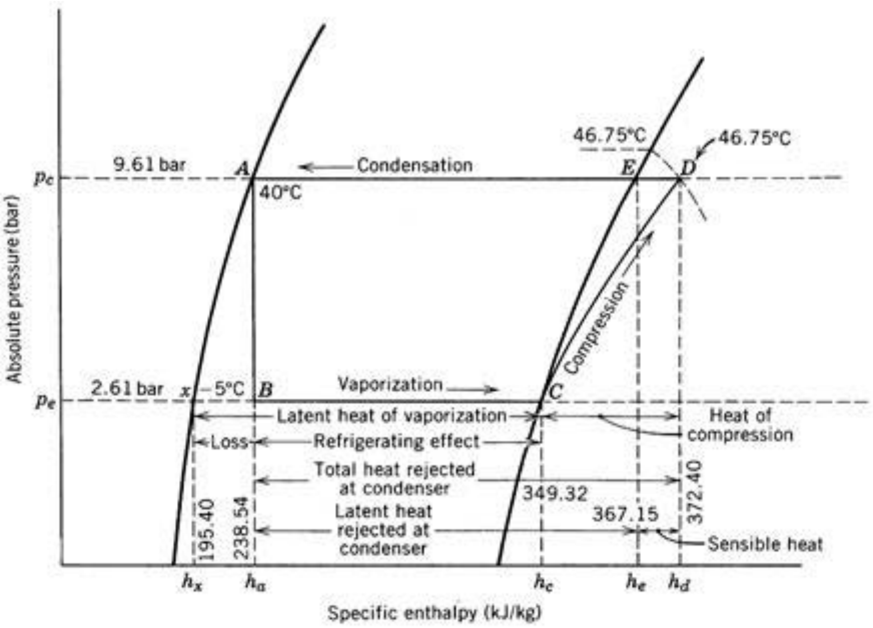
Garis horizontal yang membentang dari kiri ke kanan melalui bagian tengah chart adalah garis tekanan konstan (*constant pressure*), dan garis vertikal yang membentang dari atas ke bawah melalui bagian tengah chart adalah garis entalpi konstan (*constant enthalpy*). Semua titik pada garis *constant pressure* mempunyai tekanan yang sama. Demikian juga semua titik pada garis constant elthalpy mempunyai eltalpi sama.

Garis suhu konstan atau *constant temperature* pada daerah *subcooled reg*ion dinyatakan dengan garis vertical memotong garis saturated liquid dan parallel dengan garis *constant enthalpy*. Pada bagia tengah, karena perubahan fasa refrijeran

berlangsung pada suhu dan tekanan konstan, maka garis *constant temperature* paralel dan segaris dengan garis *constant pressure*. Pada garis *saturated vapor*, maka garis *constant temperature* berbelok arah lagi dan pada daerah superheated region, kurva garis *constant temperature* menurun curam ke bagian dasar chart. Pada gambar 2.25, diberikan contoh sebuah garis *constant temperature* pada skala 15^{o}C.

Selanjutnya, pada daerah *superheated region*, dipetakan garis *constant entropy*, berupa garis diagonal hampir tegak dan garis *constant volume*, yang dipetakan dengan garis lengkung ke atas melalui garis *saturated vapor*.

Besaran atau nilai dari berbagai sifat refrijeran penting yang diperlukan dalam siklus refrijerasi dapat langsung dibaca dengan mudah melalui *ph-chart*. Untuk menyederhanakan chart, maka jumlah garis skala pada *ph-chart* dibuat seminimum mungkin. Oleh karena itu, bila hasil pemetaan siklus tidak berada tepat pada garis skalanya, perlu dilakukan interpolasi untuk menentukan nilai yang sebenarnya. Dalam buku ini, *ph-chart* perhitungannya didasarkan pada asumsi sebagai berikut: masa refrijeran dinyatakan dalam 1 kg, spesifik volume dalam satuan m3/kg, entapi dalam kJ/kg, dan entropi dalam kJ/kg.K. Skala entapli dapat ditemukan pada garis horisontal di bagian bawah chart.

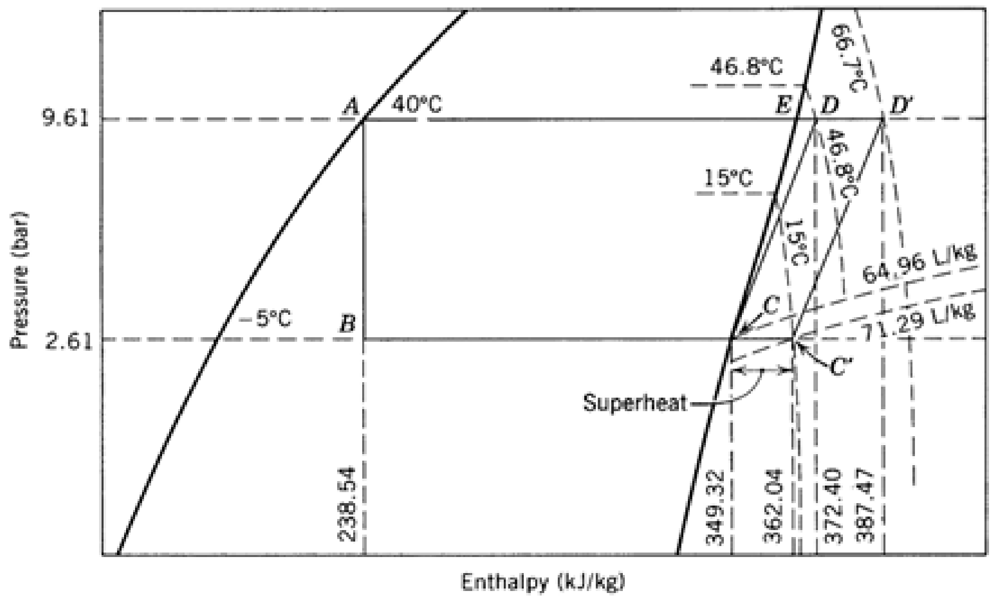


Gambar 2.22 Pemetaan Proses Refrijerasi pada ph-Chart

Gambar 2.22 memperlihatkan contoh pemetaan siklus refrijerasi pada ph-chart. Pada chart dapat dibaca berbagai kondisi refrijeran selama siklusnya berlangsung. Titik A, B, C, D pada chart sesuai dengan titik A, B, C, dan D pada gambar 2.25. Dari chart dapat diketahui, misalnya Suhu evaporasi adalah – 5^{o}C, suhu kondensasi adalah 40oC. Tekanan kondensasi adalah 9,61 bar, tekanan evaporasi adalah 2,61 bar. Suhu refrijeran gas pada sisi discharge kompresor adalah 46,8^{o}C (D) atau 66,7^{o}C (D'). Panas sensible dan panas laten yang ditambahkab atau diambil dari refrijeran juga dapat langsung diketahui. Demikian juga Entalpinya. Setiap Proses yang berlangsung dapat juga diketahui secara pasti.

Proses ekspansi

Pada kasus gambar 2.23, diasumsikan, refrijeran tidak mengalami perubahan saat keluar dari condeser menuju ke katub ekspansi, jadi Tekanan refrijeran saat mencapai katub ekspansi sama dengan kondisi di titik A, yaitu 9,61 bar. Setelah melewati katub ekspansi (titik B) tekanan refrijeran cair langsung turun karena mengalami proses ekspansi adiabatic, yaitu entalpi tidak berubah. Garis ekspansi adiabatic A-B merupakan garis lurus, Karena entalpinya tidak berubah. Pada titik B tekanan refrijeran cair adalah 2,61 bar, Suhu -5^{o}C, entalpi 238,535 kJ/kg.



Gambar 2.23 Contoh Tipikal Pemetaan Siklus Refrigerasi

Proses Evaporasi

Titik B hinggs ke titik C adalah proses eveporasi, yaitu penguapan refrijeran cair di evaporator. Karena penguapan terjadi pada suhu dan tekanan konstan, maka proses B-C lazim disebut sebagai isothermal dan isobar, dan diyatakan dengan garis lurus horizontal dari titik B ke titik C. Pada titik C penguapan refrijeran selesai, sehinga kondisinya disebut saturasi pada suhu dan tekanan penguapan. Pada titik C ini, kondisi tekanan refrijeran adalah 2,61 bar, suhu –5, entalpi 349,32 kJ/kg. Garis BC lazim disebut sebagai efek refrijerasi (refrigerating efect) atau qe. Besarnya qe adalah (349,32 – 238,54) kJ/kg = 110,78 kJ/kg.

Proses Kompresi

Proses refrijerasi yang ditunjukkan dalam gambar 2.25 disebut proses refrijerasi saturasi, karena kompresor menghisap saturasi gas hasil evaporasi di evaporator. Garis CD menyatakan proses kompresi yang dilakukan oleh kompresor, yaitu meningkatkan tekanan dan suhu refrijeran gas yang dihisap oleh katub suction dan kemudian mengkompresi hingga tekanan tertentu, yang disebut tekanan kondensasi, titik D. Dalam kasus ini, proses kompresi yang dilakukan oleh kompresor, lazim disebut sebagai proses kompresi isentropik, yaitu proses kompresi yang berlangsung pada entropi konstan atau constant entropy. Karena tidak ada perubahan entropi selama proses kompresi dari titik C ke titik D, maka entropi refrijeran pada titik C sama dengan entropi refrijeran pada titik D. Oleh karena itu titik D dapat dipetakan pada ph-chart mengikuti garis constant entropy dari titik C hingga memotong garis constant pressure, yaitu tekanan kondensasi, di titik D.

Pada titik D, kondisi refrijeran gas disebut gas panaslanjut pada tekanan kondensasi 9,61 bar, pada suhu saturasi kondensasi 40^{o}C. Garis CD lazim disebut sebagai Energi panas untuk kompresi atau kerja kompresi, atau qw. Besarnya qw adalah (372,4 – 349,32) kJ/kg = 23,08 kJ/kg.

Hasil penyerapan panas yang dilakukan kompresor, menyebabkan kondisi refrijeran gas yang dipampatkan oleh kompresor menjadi gas panaslanjut, yang suhunya di atas suhu saturasi pada tekanan kondensasi. Suhu gas panaslanjut ini mencapai 46,75^{o}C, sedang suhu saturasi pada tekanan 9,61 adalah 40^{o}C. Sebelum gas dapat diembunkan (kondensasi) maka suhu gas panaslanjut harus diturunkan hingga

ke suhu saturasi sesuai tekanan kondensasinya. Panas yang dipindahkan adalah panas sensibel (garis DE).

Proses kondensasi

Biasanya, proses DE (panas sensibel) dan proses kondesasi EA (panas laten), berlangsung di kondensor, yaitu gas panaslanjut dari kompresor didinginkan hingga mencapai suhu kondensasi dan kemudian mengembun. Proses DE berlangsung di bagian atas kondensor dan saluran gas panas. Pada titik E, kondisi refrijeran adalah gas saturasi pada suhu dan tekanan kondensasi. Sifat-sifatnya sebagai berikut: tekanan 9,61 bar, suhu 40^{o}C, entalpi 367,146 kJ/kg.

Proses EA adalah proses kondensasi gas saturasi di kondensor. Karena kondensasi berlangsung pada suhu dan tekanan konstan, maka garis EA segaris dengan garis constant pressure dan conctant temperature dari titik E ke titik A. Panas yang dibuang ke media kondensasi adalah qc adalah (372,4-238,54) kJ/kg = 133,86 kJ/kg.

Atau qc = qe + qw = 110,78 + 23,08 = 133,86 kJ/kg.

Bila kapasitas refrijerasi dikehendaki sebesar 1 kW, maka masa refrijeran yang harus disirkulasi di dalam sistem kompresi gas ini adalah

$$m = \frac{Q_e}{q_e} = \frac{1(kW)}{110,78(kJ/kg)} = 0,00903 \text{ kg/det.} = 9,03 \text{ g/det.}$$

Kapasitas kondensasi Qc adalah

$$Q_c = (m)(q_c) = 0,00903(kg/\det)x133,86(kJ/kg) = 1,209 \text{ kJ/det.}$$

Kapasitas kompresi Qw adalah

$$Q_w = (m)(q_w) = 0,00903(kg/\det)x23,08(kJ/kg) = 0,20841 \text{ kJ/kg}$$

Coeficient of Performance (COP)

Kualitas unjuk kerja suatu sistem refrijerasi dapat dinyatakan dengan suatu angka hasil perbandingan antara energi yang diserap dari udara ruang dan energi

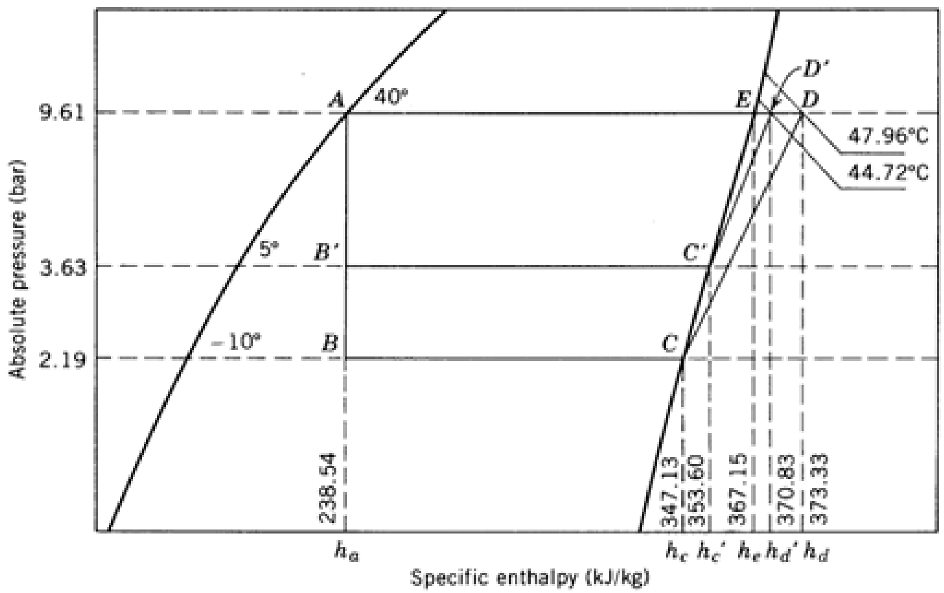
yang digunakan untuk mengkompresi gas di kompresor. Perbandingan kedua energi tersebut lazim disebut sebagai Koefisien unjuk kerja dari siklus refrijerasi atau Coefficient of performance (cop).

$$COP = \frac{110{,}78(kJ/kg)}{23{,}08(kJ/kg)} = 4{,}8$$

Pengaruh Suhu Evaporasi

Efisiensi siklus refrijerasi kompresi uap bervariasi terhadap suhu eveporasi dan suhu kondensasi. Tetapi pengaruh suhu evaporasi terhadap efisiensi siklus lebih besar dibandingkan suhu kondensasi.

Gambar 2.17 memberikan ilustrasi bagaimana pengaruh suhu evaporasi terhadap efisiensi siklus refrijerasi. Gambar tersebut menunjukkan hasil pemetaan pada ph-chart dari dua siklus refrijeasi yang mempunyaisushu evaporasi berbeda. Siklus pertama, dengan suhu evaporasi -10oC ditandai melalui titik A, B, C, D, E dan siklus kedua dengan suhu 5^{o}C, ditandai dengan titik A, B', C', D' , dan E.



Gambar 2.24 Pemetaan Dua suhu Evaporasi yang berbeda

Untuk memperlihatkan perbedaannya, marilah kita hitung entalpinya.

(a) untuk siklus dengan suhu -10^{o}C

qe = hc – ha = (347,13 – 238,54) kJ/kg = 108,59 kJ/kg

qw = hd – hc = (373,33 – 347,13) kJ/kg = 26,2 kJ/kg

qc = hd – ha = (373,33 – 238,54) kJ/kg = 134,79 kJ/kg

(b) untuk siklus dengan suhu 5^{o}C

qe = hc' – ha = (353,6 – 238,54) kJ/kg = 115,06 kJ/kg

qw = hd' – hc' = (370,83 – 353,6) kJ/kg = 17,23 kJ/kg

qc = hd' – ha = (370,83 – 238,54) kJ/kg = 132,29 kJ/kg

Kenaikan Efek refrijerasi terhadap keanikan suhu evaporasi adalah

115,06 kJ/kg – 108,59 kJ/kg = 6,47 kJ/kg Atau

(6,47 / 108,59) x 100 = 5,96%.

Jadi semakin tinggi suhu evaporasi semakin besar pula efek refrijerasinya.

Sekarang marilah kita tinjau perbedaan masa refrijeran terhadap kenaikan suhu evaporasi.

(a) untuk siklus dengan suhu -10^{o}C, besaran masa refrijeran per kilowatt kapasitas refrijerasi adalah:

$$\frac{1(kW)}{108{,}59(kJ/kg)} = 0{,}00921 \text{ kg/det.}$$

(b) untuk siklus dengan suhu 5^{o}C, besaran masa refrijeran per kilowatt kapasitas refrijerasi adalah:

$$\frac{1(kW)}{115{,}06(kJ/kg)} = 0{,}00869 \text{ kg/det}$$

Pada kenaikan suhu evaporasi, jumlah masa refrijeran yang disirkulasikan mengalami penurunan. Penurunannya sebesar:

$$\frac{0,00921(kg/\det) - 0,00869(kg/\det)}{0,00921(kg/\det)} x100 = 5,65\%$$

Sekarang kita tinjau perbedaan daya teoritis yang digunakan untuk kompresi refrijeran.

a. untuk siklus dengan suhu -10^{o}C, besaran daya teoritis kompresi adalah:

Pt = mxqw = 0,00921(kg/det)x26,2(kJ/kg) = 0,2413 kW

b. untuk siklus dengan suhu 5oC, besaran daya teoritis kompresi adalah:

Pt = mxqw = 0,00869(kg/det)17,23(kJ/kg) = 0,1497 kW

Dari sini dapat dinyatakan, bahwa kenaikan suhu evaporasi akan menurunkan daya kompresi teoritis sebesar:

$$\frac{0,2413 - 0,1497}{0,2413} x100 = 36,7\%$$

Terakhir, marilah kita tinjau efisiensi siklus refrijerasinya.

Untuk membandingkan efisiensi siklusnya, dapat dilakukan dengan membandingkan COP antara kedua siklus tersebut.

(a) untuk siklus dengan suhu -10^{o}C, besaran COP adalah:

$$\frac{108,59(kJ/kg)}{26,20(kJ/kg)} = 4,14$$

(b) untuk siklus dengan suhu 5^{o}C, besaran COP adalah:

$$\frac{115,06(kJ/kg)}{17,23(kJ/kg)} = 6,68$$

Sudah dapat dipastikan, bahwa COP dan juga efisiensi siklus akan ikut naik bila suhu evaporasinya juga naik. Disini, kenaikan suhu evaporasi dari -10^{o}C ke 5oC, menyebabkan kenaikan efisiensi sebesar:

$$\frac{6,68-4,14}{4,14}x100 = 61,4\%$$

Pengaruh Suhu Kondensasi

Walaupun pengaruh perbedaan suhu kondensasi terhadap efisiensi siklus tidak sebesar suhu evaporasi, tetapi pengaruh perbedaan suhu kondensasi terhadap efisiensi tetap tidak boleh diabaikan. Gambar 2.28 memberikan ilustrasi bagaimana pengaruh suhu kondensasi terhadap efisiensi siklus refrijerasi. Gambar tersebut menunjukkan hasil pemetaan pada ph-chart dari dua siklus refrijeasi yang mempunyai suhu kondensasi berbeda. Siklus pertama, dengan suhu evaporasi 40^{o}C ditandai melalui titik A, B, C, D, E dan siklus kedua dengan suhu 50^{o}C, ditandai dengan titik A' B', C, D' , dan E'.

Untuk memperlihatkan perbedaannya, marilah kita hitung entalpinya.

(a) untuk siklus dengan suhu evaporasi -10^{o}C dan suhu kondensasi 40^{o}C sudah dihitung pada contoh kasus sebelumnya, yaitu

qe = hc – ha' = (347,13 – 248,88) kJ/kg = 98,25kJ/kg

qw = hd' – hc = (377,71 – 347,13) kJ/kg = 30,58 kJ/kg

qc = hd' – ha' = (377,71 – 248,88) kJ/kg = 128,83 kJ/kg

(b) untuk siklus dengan suhu kondensasi 50^{o}C

qe = hc' – ha = (353,6 – 238,54) kJ/kg = 115,06 kJ/kg

qw = hd' – hc' = (370,83 – 353,6) kJ/kg = 17,23 kJ/kg

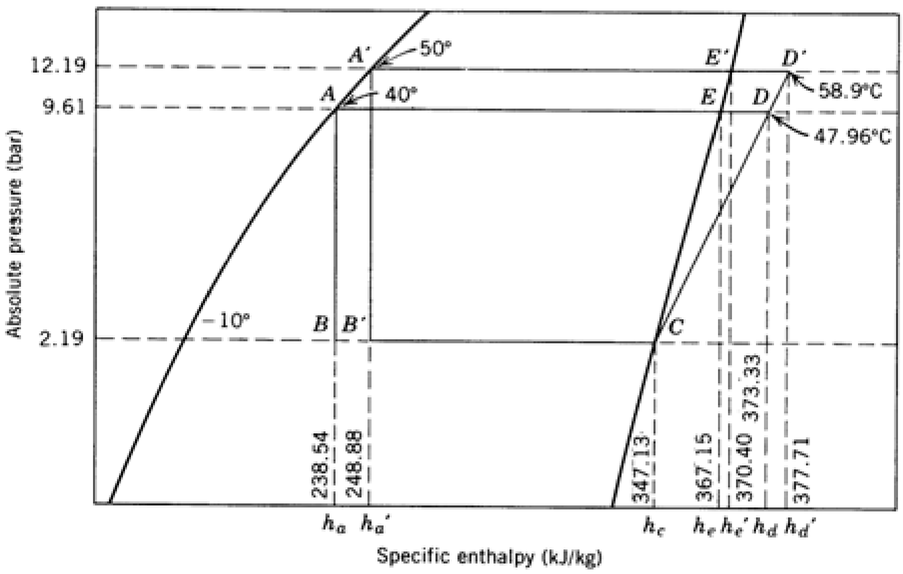
qc = hd' – ha = (370,83 – 238,54) kJ/kg = 132,29 kJ/kg

Penurunan Efek refrijerasi terhadap kenaikan suhu kondensasi adalah

108,58 kJ/kg – 98,25 kJ/kg = 10,33 kJ/kg Atau

(10,33 / 108,59) x 100 = 9,51%.

Jadi semakin tinggi suhu kondensasi semakin kecil efek refrijerasinya.



Gambar 2.25 Pemetaan dua Suhu Kondensasi yang berbeda

Sekarang marilah kita tinjau perbedaa masa refrijeran terhadap kenaikan suhu evaporasi

(c) untuk siklus dengan suhu 40^{o}C, besaran masa refrijeran per kilowatt kapasitas refrijerasi adalah:

$$\frac{1(kW)}{108{,}59(kJ/kg)} = 0{,}00921 \text{ kg/det.}$$

(d) untuk siklus dengan suhu 50^{o}C, besaran masa refrijeran per kilowatt kapasitas refrijerasi adalah:

$$\frac{1(kW)}{98{,}25(kJ/kg)} = 0{,}01018 \text{ kg/det}$$

Pada kenaikan suhu evaporasi, jumlah masa refrijeran yang disirkulasikan mengalami kenaikan. kenaikannya sebesar:

$$\frac{0{,}01018(kg/\det) - 0{,}00921(kg/\det)}{0{,}00921(kg/\det)} x100 = 10{,}53\%$$

Sekarang kita tinjau perbedaan daya teoritis yang digunakan untuk kompresi refrijeran.

c. Untuk siklus dengan suhu 40^{o}C, besaran daya teoritis kompresi adalah:
   Pt = mxqw = 0,00921(kg/det)x26,2(kJ/kg) = 0,2413 kW

d. Untuk siklus dengan suhu 50^{o}C, besaran daya teoritis kompresi adalah:
   Pt = mxqw = 0,01018(kg/det)30,58(kJ/kg) = 0,3313 kW

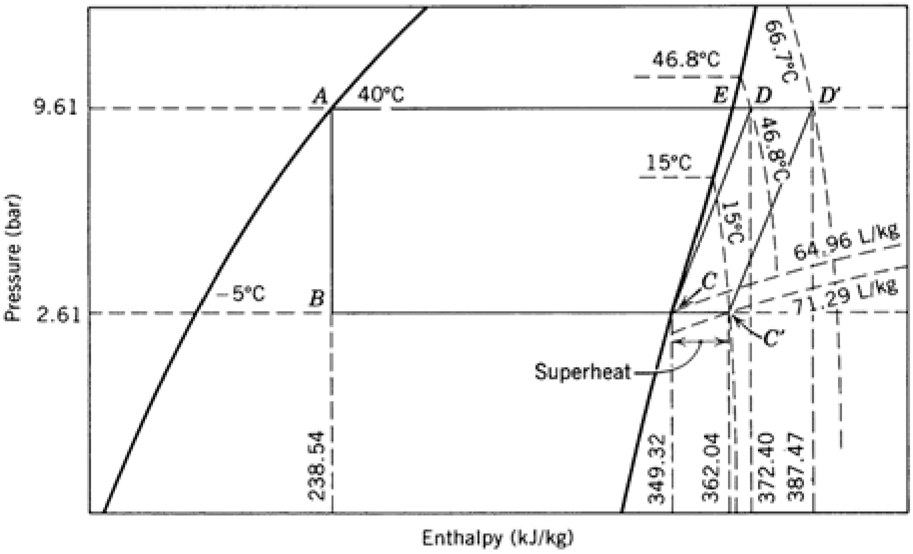
Dari sini dapat dinyatakan, bahwa kenaikan suhu kondensasi akan meningkatkan daya kompresi teoritis sebesar:

$$\frac{311{,}3 - 241{,}3}{241{,}3} x100 = 29\%$$

Menentukan Kapasitas Sistem Refrigerasi

Dengan bekal gambar pemetaan pada ph-chart seperti diperlihatkan pada gambar 2.19, maka kapasitas sistem refrigerasi dapat ditentukan dengan mudah, sebagai berikut:

1. Menentukan nilai entalpi untuk setiap kondisi refrijeran, yaitu titik A, B, C, D, C', dan D'.
   1.1 Dari titik A, tarik garis lurus ke bawah, hingga memotong skala enthalpy. Sehingga dapat diperoleh nilai entalpinya, yaitu ha = 238,54 kJ/kg. Titik B mempunyai entalpi sama dengan titik A.
   1.2 Demikian juga dari titik C, tarik garis lurus ke bawah, hingga memotong skala enthalpy. Sehingga dapat diperoleh nilai entalpinya, yaitu hc = 349,32 kJ/kg.
   1.3 Dari titik D, tarik garis lurus ke bawah, hingga memotong skala enthalpy. Sehingga dapat diperoleh nilai entalpinya, yaitu hd = 372,4 kj/kg
   1.4 Demikian juga dari titik C', tarik garis lurus ke bawah, hingga memotong skala enthalpy. Sehingga dapat diperoleh nilai entalpinya, yaitu hc = 362,04 kJ/kg.
   1.5 Dari titik D', tarik garis lurus ke bawah, hingga memotong skala enthalpy. Sehingga dapat diperoleh nilai entalpinya, yaitu hd = 387,47 kj/kg



Gambar 2.26 Pemetaan Untuk Menentukan Kapasitas Refrigerasi

2. Menentukan nilai kapasitas sistem
   2.1 Kapasitas efek refrigerasi untuk siklus saturasi (titik C) dapat ditentukan dengan mencari selisih antara hc dan ha, yaitu 349,32 kj/kg – 238,54 kj/kg = 110,78 kj/kg. Artinya bila masa refrijeran yang diuapkan di evaporator sebesar 2 kg, maka kapasitas efek refrigerasi mencapai 221,56 kJ.
   2.2 Kapasitas efek refrigerasi untuk siklus panaslanjut (titik C') dapat ditentukan dengan mencari selisih antara hc' dan ha, yaitu 362,04 kj/kg – 238,54 kj/kg = 123,50 kj/kg. Artinya bila masa refrijeran yang diuapkan di evaporator sebesar 2 kg, maka kapasitas efek refrigerasi mencapai 247 kJ.
   2.3 Kapasitas kompresi saturasi dapat ditentukan dengan mencari selisih antara hd dan hc, yaitu 372,4 kj/kg – 349,32 kj/kg = 23,08 kj/kg.
   2.4 Kapasitas kompresi panaslanjut dapat ditentukan dengan mencari selisih antara hd' dan hc', yaitu 387,47 kj/kg – 362,04 kj/kg = 25,43 kj/kg
   2.5 Kapasitas kondensasi siklus saturasi dapat ditentukan dengan mencari selisih antara hd dan ha, yaitu 372,4 kj/kg – 238,54 kj/kg = 133,86 kj/kg.
   2.6 Kapasitas kondensasi siklus panaslanjut dapat ditentukan dengan mencari selisih antara hd' dan ha, yaitu 387,47 kj/kg – 238,54 kj/kg = 148,93 kj/kg.

Dari perhitungan di atas dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut:

1. Panas kompresi per kilogram pada siklus panaslanjut sedikit lebih besar daripada siklus saturasi, yaitu sebesar 10%. Di mana daya kompresi siklus saturasi 23,08 kJ/kg sedang daya kompresi siklus panaslanjut adalah 25,43 kj/kg.

$$\frac{25,43-23,08}{23,08}x100=10\%$$

2. Pada suhu dan tekanan kondensasi sama, suhu gas panas yang keluar dari katub discharge kompresor pada siklus panaslanjut sedikit lebih tinggi daripada siklus saturasi, yaitu 66,7oC untuk siklus panaslanjut dan 46,8oC untuk siklus saturasi.

3. Pada siklus panaslanjut, panas yang dibuang di kondenser lebih besar daripada siklus saturasi. Pada siklus panaslanjut qc = 148,93 kj/kg, pada siklus saturasi qc = 133,86 kj/kg. Kenaikannya sebesar

$$\frac{148,93-133,86}{133,86}x100=11,26\%$$

4. COP pada siklus saturasi adalah

$$\frac{110,79}{23,08}=4,8$$

5. COP pada siklus panaslanjut adalah

$$\frac{123,5}{25,43}=4,85$$

Latihan:

Bagian A

1. Jelaskan komponen utama vapor-compression refrigeration system?
2. Deskripsikan dua fungsi utama kompresor dalam siklus refrigerasi?
3. Jelaskan dua kategori utama kompresor refriegrasi?
4. Deskripsikan fungsi utama kompresor?
5. Deskripsikan parameter utama yang berpengaruh terhadap efisiensi kompresor?
6. Deskripsikan disain konfigurasi rotary kompresor?
7. Refrijeran R-134a masuk ke dalam siklus refrigerasi pada tekanan gauge 120 kPag. Kondensor dijaga beroperasi pada tekanan absolut 800 kPaa. Jika tekanan atmosfir adalah 95 kPa, tentukan rasio kompresi kompresor!
8. Refrijeran R-134a masuk ke kompresor refrigerasi pada tekanan 100 kPa dan suhu -20^{O}C, dengan laju aliran sebesar 1,8 m3/menit dan meninggalkan kompresor pada tekanan 700 kPa dan suhu 50^{O}C. Tentukan (a) power input, (2) efisiensi isentropic.

Bagian B

1. Jelaskan kriteria pemilihan kondensor?
2. Deskripsikan jenis kondensor?
3. Deskripsikan pengaruh cuaca terhadap kerja condenser?
4. Refrijeran R-134a masuk ke kondensor pada tekanan 1000 kPa dan suhu 80OC dengan laju aliran 0,038 kg/detik dan meninggalkan kondensor pada tekanan subcooled yang sama dengan suhu 4,4^{O}C. Refrijeran berkondensasi dengan membuang panas ke air pendingin sehingga dapat menaikkan suhu air sebesar 9^{O}C. Tentukan (a) Besaran panas yang dibuang di kondensor, (b) masa air yang mengalir ke kondensor, (c) COP

Bagian C

1. Deskripsikan klasifikasi evaporator?
2. Uraikan istilah direct expansion?
4. Panas yang diserap dari ruang yang didinginkan adalah 320 kJ/menit oleh R22 yang masuk ke evaporator pada suhu -19OC dengan kualitas 0,3 dan meninggalkan evaporator sebagai gas saturasi pada tekanan sama. Tentukan volume dari aliran refrijeran R22 pada sisi inlet dan outlet kompresor. Karakteristik R22 pada sisi inlet h1=252,16kJ/kg, v1=0,02010 m^3/kg, sedang pada sisi outlet h2=401,10 kJ/kg, dan v2=0,06523 m^3/kg.

Bagian D

1. Deskripsikan piranti untuk mengoontrol laju refrijeranke evaporator? .
2. Deskripsikan karakteristik pipa kapiler? .
5. R-134a masuk ke katub ekspansi pada tekanan 200 psia sebagai liquid saturasi dan meninggalkan katub pada tekanan 20 psia. Tentukan (a) beda suhu pada katub, (b) entropy yang dibangkitkan selama proses ekspansi, Jika T0 = 77 ^{O}F.

Kerja Proyek

Mengoperasikan Sistem Komersial

Alat / Bahan :

1. Trainer Domestic Refrigeration
2. Service Manifold
3. Thermometer digital

Petunjuk:

1. Mempersiapkan peralatan yang diperlukan untuk eksperimen
2. Mengidentifikasi komponen sistem
3. Mengoperasikan sistem refrigerasi
4. Mencatat data-data unjuk kerja / operasi sistem refrigerasi
5. Membuat kesimpulan
6. Gunakan Format isian yang telah disediakan
7. Utamakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

Format 1. Identifikasi Komponen Sistem Refrigerasi

Nama peralatan: ....

Komponen Utama	Komponen Kontrol	Assesoris

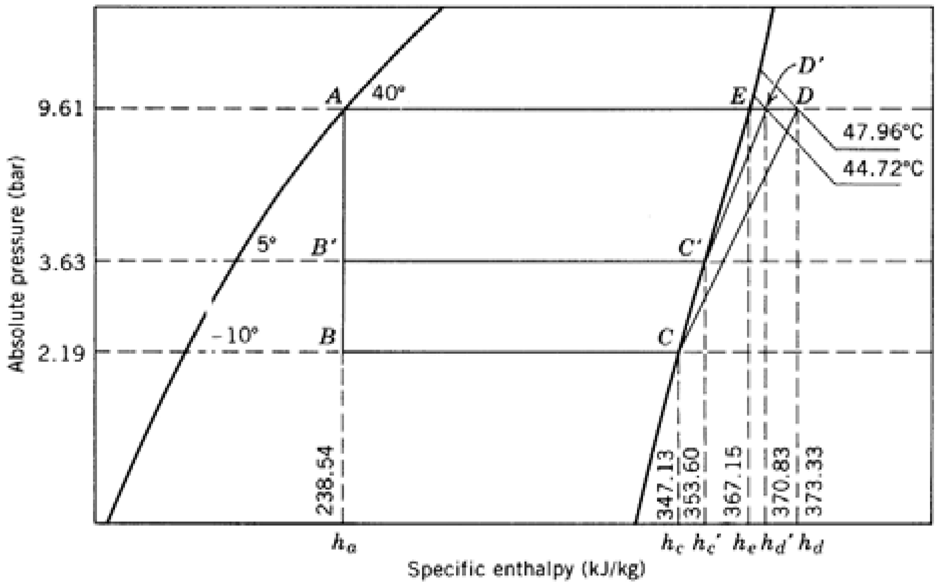
Format 2: Data Operasi Sistem

Peralatan	Data Pengamatan
Domestic Refrigeration Trainer	Suhu ambien: Tekanan Suction : Tekanan Discharge : Suhu Kabinet : Suhu Evaporasi : Suhu Kondensing : Suhu Superheat suction: Suhu superheat discharge: Suhu refrigeran sebelum masuk pipa kapiler Suhu refrigerigeran setelah keluar pipa kapiler:

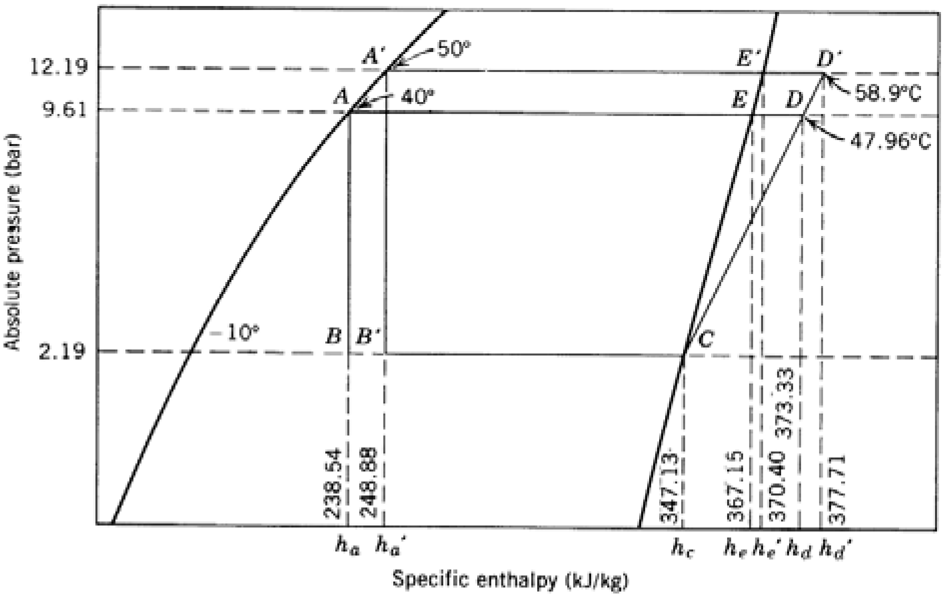
Komentar / Pembahasan Data Pengukuran :

Permasalahan

1. Pelajari hasil pemetaan siklus refrijerasi pada gambar berikut ini, berikan kesimpulanmu.



2. Pelajari juga hasil pemetaan siklus refrijerasi pada gambar berikut ini, berikan kesimpulanmu.



C. Kegiatan Belajar 3:

Refrijeran dan Isu Lingkungan

Tujuan Kegiatan Pembelajaran 3

Setelah menyelesaikan kegiatan belajar ini, diharapkan peserta mampu:

1. Mendeskripsikan refrijeran dilihat dari sisi susunan senyawa kimiawinya
2. Mendeskripsikan refrijeran dilihat dari karakteristik termalfisiknya
3. Mendeskrupsikan refrijeran dari pengkodean dan penomorannya
4. Mendeskripsikan isu lingkungan yang berkaitan dengan perusakan lapisan ozon stratosfir
5. Mendeskripsikan isu lingkungan terkait dengan efek rumah kaca dan pemanasan global.

Proses pendinginan atau refrigerasi pada hakekatnya merupakan proses pemindahan energi panas yang terkandung di dalam ruangan tersebut. Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka kita tidak dapat menghilangkan energi tetapi hanya dapat memindahkannya dari satu substansi ke substansi lainnya. Untuk keperluan pemindahan energi panas ruang, dibutuhkan suatu fluida penukar kalor yang selanjutnya disebut Refrijeran.

Untuk keperluan mesin refrigerasi maka refrijeran harus memenuhi persyaratan tertentu agar diperoleh performa mesin refrigerasi yang efisien. Disamping itu refrijeran juga tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Oleh karena itu, pada masa lalu pemilihan refrijeran hanya didasarkan atas sifat fisik, sifat kimiawi dan sifat thermodinamik. Sifat-sifat tersebut dapat memenuhi persyaratan refrijeran, yaitu :

- Titik penguapan yang rendah
- Kestabilan tekanan
- Panas laten yang tinggi
- Mudah mengembun pada suhu ruang
- Mudah bercampur dengan oli pelumas dan tidak korosif
- Tidak mudah terbakar
- Tidak beracun

Diantara berbagai jenis refrijeran yang ada, jenis yang paling terkenal adalah refrijeran yang dikenal dengan nama CFC (klorofluorokarbon) yang ditemukan oleh seorang peneliti berkebangsaan Amerika yang bernama ―Thomas Midgely" dari General Motor pada tahun 1928. Pada awalnya CFC tersebut digunakan sebagai bahan pendingin generator sebagai pengganti amonia. Tetapi pada tahap berikutnya digunakan sebagai refrijeran.

Keluarga hidrokarbon seperti propane dan isobutane sudah diperkenalkan sebagai refrijeran sejak tahun 1916, karena senyawa ini memiliki sifat thermodinamik yang sangat bagus tetapi sayangnya ia mudah terbakar. Oleh karena itu pamornya langsung saja tenggelam ditelan masa dengan ditemukannya keluarga CFC pada tahun 1930. Keluarga CFC-refrijeran yang ditemukan 60 tahun silam, merupakan refrijeran yang mempunyai sifat unik. Disamping mempunyai sifat thermodinamik yang bagus juga tidak beracun dan tidah mudah terbakar. Tetapi setelah mengabdi pada kehidupan manusia selama setengah abad lebih, dominasi keluarga CFC di pasaran refrijeran, harus menerima kenyataan pahit, yaitu dihapuskan dari peredarannya karena telah terbukti bahwa kandungan klorin mempunyai kontribusi tinggi terhadap perusakan lapisan ozon dan pemanasan global. Oleh karena itu perlu difikirkan penggunaan refrijeran alternatif yang ramah lingkungan.

Karena perusakan lapisan ozon dirasa semakin membesar, maka pada tahun 1989 diadakan kesepakatan untuk mempercepat penghapusan pemakaian CFC melalui kesepakatan internasional yang diratifikasi oleh 36 negara di acara besar yang dikenal dengan sebutan Protokol Montreal. Selanjutnya pada tahun 1990 pada pertemuan di London, disepakati untuk menghapus CFC hingga tahun 2005. Indonesia termasuk salah satu dari 137 negara yang ikut meratifikasi Protokol Monteral pada tahun 1992 dengan bersedia menghapus komsumsi CFC mulai tahun 1997.

Sejak itu dimulailah era perburuan refrijeran alternatif yang dapat menggantikan CFC. Dengan bantuan dana dari MMF yaitu dana multilateral dari Protokol Montreal, mulai 1992 dicanangkan program penghapusan CFC.

Saat ini telah ditemukan beberapa refrijeran yang dapat digunakan sebagai pengganti CFC. Refrijeran alternatif tersebut diambilkan dari keluarga HFC (hidrofluorokarbon) dan HC (hidrokarbon) serta carbondioksida. Dari hasil penelitian

para ahli kita yang sudah dipublikasikan, dapat diketahui bahwa keluarga HFC mempunyai sifat thermodinamik yang sama dengan keluarga CFC. Disamping itu HFC mempunyai kandungan toksisitas (racun tubuh) yang juga rendah dan juga tidak mudah terbakar.

Pada tahap pertama (tahun 1992/1993), MMF telah dapat merekomendasikan dua jenis refrijeran yaitu: HCFC-22 dan HFC-134a. Pada tahap berikutnya periode 1993/94 penggunaan isobutan atau yang dikenal dengan HC-600a sebagai blowing agent diusulkan sebagai refrijeran alternatif dan akhirnya usulan ini mendapat rekomendasi oleh MMF. Mulai 2014 konsumsi HCFC-22 digantikan dengan refrijeran baru yang ramah lingkungan yaitu R410a.

Amonia tidak berwarna tetapi mempunyai bau menyengat, tetapi mudah larut dalam air. Disamping itu mudah terbakar dan meledak bila bercampur dengan udara dalam proporsi tertentu. Oleh karena itu diperlukan sistem pemipaan yang kuat dan kokoh. Tekanan kerja kondensing unitnya dapat mencapai 115 sampai 200 Psi dari jenis *water cooled condenser*. Untuk mendeteksi adanya kebocoran gas biasanya digunakan kertas khusus yang disebut ―*Phenolphathalein paper*". Kertas ini bila terkena gas amonia akan berubah warna menjadi pink.

Karbon dioksida, banyak digunakan pada keperluan industri dan kapal laut. Meskipun berbahaya bila terhirup oleh manusia, tetapi gas ini mempunyai tekanan kondensing yang tinggi (1000 Psi) maka menguntungkan dari segi penyediaan kompresornya, yakni ukuran kompresornya menjadi kecil disamping itu tidak mudah terbakar, tidak beracun.

Tugas 3.1: Pengurangan Konsumsi Refrigeran Yang Tidak Ramah Lingkungan

Bacalah teks singkat tentang *R-22 Phase Out* yang ada di dalam *textbox* berikut ini. Sengaja teks tersebut tidak diterjemahkan. Oleh karena itu, kalian harus menterjemahkan terlebih dahulu, dan kemudian mencoba memahami makna teks tersebut. Kalian pasti setuju artikel tentang *R-22 phase out* dalam *textbox* di atas terasa sangat singkat dan ada informasi yang hilang atau tidak lengkap. Artikel singkat dalam textbox di atas dikeluarkan oleh pabrikan kompresor besar di Eropa, Danfoss. masih meninggalkan banyak pertanyaan yang perlu mendapat jawaban

yang proporsional agar masalahnya menjadi jelas. Pertanyaaan-pertanyaan yang perlu mendapat klarifikasi lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Mengapa komunitas dunia berkomitmen menghapus refrijeran R-22?
2. Mengapa setelah bulan Desember 2014, khususnya untuk Eropa, tidak boleh lagi menggunakan refrijeran R-22 untuk service room AC?
3. Bagaimana sikap dan komitment negara kita Republik Indonesia, tentang pengurangan konsumsi R-22?
4. Implikasi apa yang didapat dengan adanya komitment mempercepat penghapusan refrijeran R-22

Diskusikan dengan temanmu sekelompok, dan presentasikan hasilnya di depan kelas.

Textbox:

R-*22 Phase Out*

The world community has committed to eliminating R22 refrigerants (HCFCs) to a series of deadlines. The first of these occurs in Europe, where new-build based on R22 is already prohibited, and the final phase-out of R22 in existing plants is scheduled for December 2014. Until this date it is still possible to use recycled R22 for service but after December 2014 although a system with R22 can still be used it is not allowed to add more R22 to that system.

For the rest of the world there are 2 important deadlines: 2020 for the non-Article 5 countries and 2040 for the Article 5 countries. The acceleration in phase-out of HCFCs in the course of the next 10 years implies that no new HCFC based systems may be operated in either developed or developing countries thereafter.

Sumber : www.danfoss.com

1. Kerusakan Lapisan Ozon

Stratosfir masih termasuk kawasan atmosfir yang berada di ketinggian 15 sampai 50 km.di atas troposfir Pada kenyataannya, di stratosfir, suhu meningkat sesuai ketinggian karena adanya penyerapan cahaya ultra violet oleh oksigen dan ozon. Hal ini meningkatkan lapisan inversi global yang menghambat gerakan vertikal ke dalam dan di dalam stratosfir, karena udara panas akan terletak di bagian atas udara yang lebih dingin di atas stratosfir, sehingga pemindahan panas secara

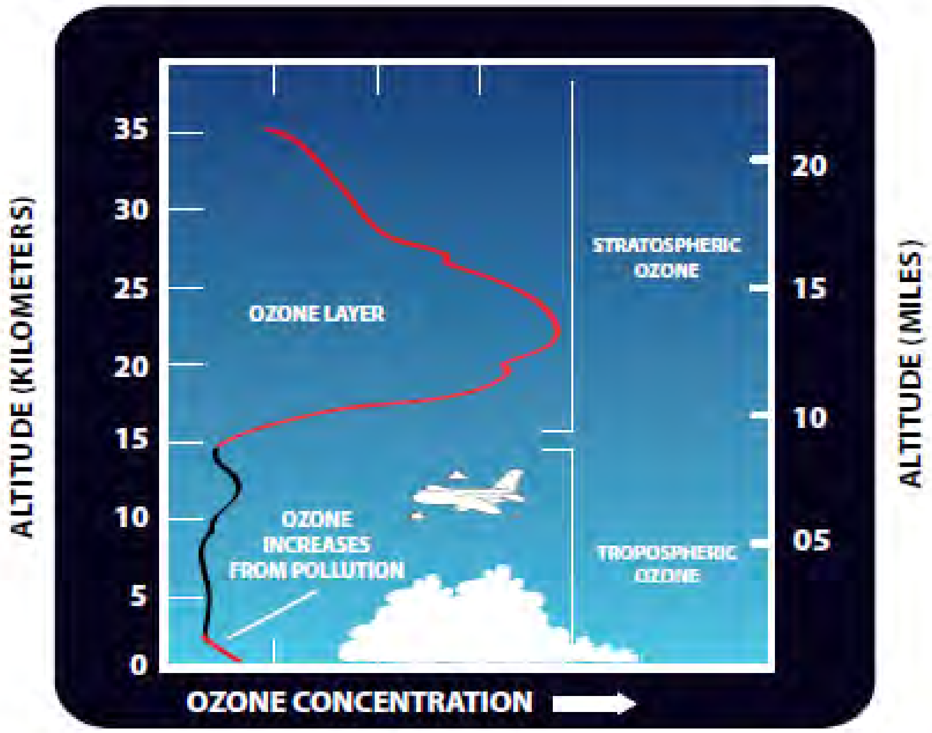
konveksi akan terhambat. Istilah stratosfir berkaitan dengan kata stratifikasi atau pelapisan.

Troposfir adalah kawasan atmosfir yang paling dekat dengan bumi dan berada di ketinggian 10 km di atas permukaan laut, bervariasi terhadap garis lintang. Hampir seluruh iklim berada di troposfir. Gunung Everest, gunung tertinggi di dunia, hanya memiliki ketinggian 8,8 km. Suhu turun terhadap ketinggian di troposfir. Begitu udara panas bergerak naik, akan mendapatkan efek pendinginan, sehingga akan turun kembali ke bumi. Proses ini disebut konveksi, yaitu ada pergerakan udara sangat besar yang bercampur sangat efisien di troposfir.

Ozon (*Ozone)* adalah gas yang terdiri dari 3 atom oksigen yang lazim disebut sebagai *bluish gas*, yang berbahaya bagi pernafasan. Hampir 90% ozon berada di stratosfir dan dikenal sebagai lapisan ozon. Ozon mampu menyerap sinar ultraviolet yang berbahaya bagi kehidupan organisme. Ozon mampu menghalangi sinar ultraviolet mencapai bumi.

Lapisan ozon merupakan wilayah stratosfer yang mengandung sebagian besar ozon. Lapisan ozon terletak sekitar 15-40 km di atas permukaan bumi, di stratosfer. Lapisan ozon memiliki ketebalan antara 2 dan 5 mm di bawah suhu normal dan kondisi tekanan dan konsentrasi bervariasi tergantung pada musim, jam hari, dan lokasi. Konsentrasi sangat besar di ketinggian sekitar 25 km di dekat khatulistiwa dan di sekitar ketinggian 16 km dekat kutub. Ozon sebagian besar berasal dari photodisassociation oksigen oleh radiasi UV dengan panjang gelombang sangat pendek (yaitu, 200µm).

Pengurangan lapisan ozon di startosfir merupakan perusakan kimiawi melalui reaksi alam dan lazim disebut sebagai masalah lingkungan global. Isu lingkungan ini utamanya disebabkan oleh *ozon depletion substances* (ODS). Sesungguhnya, lapisan ozon di stratosfir selalu terbentuk dan berkurang secara alami. Tetapi dengan adanya benda perusak ozon (ODS), dapat meningkatkan akselerasi proses perusakan ozon, sehingga lapisan ozon berkurang hingga di bawah normal. Perusakan lapisan ozon oleh ODS menyebabkan radiasi sinar ultraviolet di permukaan bumi menjadi semakin tinggi, yang dapat menyebabkan kanker kulit, katarak, dan berpotensi merusak oraganisme laut, tumbuh-tumbuhan dan plastik.



Gambar 3.1 Distribusi Ozon di Atmosfir

Zat Perusak Ozon (ODS) adalah senyawa yang berkontribusi terhadap penipisan ozon stratosfer. Zat yang masuk dalam kategori ODS adalah CFC, HCFC, Halon, metil bromida, karbon tetraklorida, dan metil kloroform. ODS umumnya sangat stabil di troposfer dan hanya mengalami degradasi di bawah sinar UV yang intens di stratosfer. Ketika mereka rusak, mereka melepaskan atom klorin atau bromin, yang kemudian menghabiskan ozon.

Tiga dekade lalu, Rowland dan Molina pertama kali meluncurkan teori bahwa CFC dan beberapa jejak gas antropogenik lainnya di atmosfer dapat bertindak menguras lapisan ozon stratosfir oleh aksi katalitik dari klorin bebas. Meskipun lapisan ozon hampir stabil selama hampir 50 tahun, mereka memperkirakan adanya penurunan konsentrasi ozon yang sangat cepat gara-gara adanya ODS.

Teori ini membawa sebuah fase baru dalam pemodelan kimia stratosfir dan memunculkan kegiatan baru di lapangan. Bahkan, titik paling penting yang membuat kondisi cukup rumit adalah gerakan udara alami ke segala arah, udara yang memiliki hampir 40 senyawa yang berbeda akan memberikan ratusan kemungkinan reaksi. Itulah sebabnya pemodelannya menjadi semakin komplek. Penurunan tingkat

kerusakan ozon rata-rata diperkirakan dalam kisaran antara 0 dan 10%, tergantung pada asumsi yang digunakan.

Pada 1930, seorang ilimuwan, Chapman menggambarkan reaksi berikut ozon terbetuk di atas stratosfer melalui radiasi Ultra Violet dengan panjang gelombang pendek (kurang dari ~ 240 nm) ketika diserap oleh molekul oksigen (O2), yang memisahkan untuk memberikan atom oksigen (O) . Atom-atom ini bergabung dengan molekul oksigen lainnya dan membentuk senyawa ozon. O2 + UV → 2O dan O + O2 → O3 (Ozon).

Sinar matahari dengan panjang gelombang antara 240 dan 320 nm diserap oleh ozon, yang kemudian terurai untuk memberikan atom O dan molekul O2. Ozon berubah kembali menjadi oksigen jika atom O datang bersama-sama dengan O3 sebagai berikut:

O3 + sinar matahari → O + O2 dan O + O3 → 2O2

Siklus perusakan ozon ini dapat terjadi dalam banyak aksi, khususnya yang paling besar adalah aksi perusakan secara katalistik. Sebagai contoh:

R + O3 → RO + O2 and RO + O → R + O2

Di mana R adalah nitrogen atau hydroxide atau radikal klorin.

CFC adalah senyawa yang terdiri setidaknya satu klorin, satu fluorin, dan satu atom karbon dalam molekul mereka. Klorin dari CFC telah dipahami menyebabkan penipisan ozon di stratosfer. Ini adalah klorin yang berperan sebagai zat perusak ozon, CFC dan HCFC merupakan ancaman bagi lapisan ozon tetapi HFC tidak.

Jika penipisan ozon terus berlangsung secara besar-besaran , kemungkinan memiliki efek sebagai berikut:

- kulit manusia, dengan perkembangan tumor kulit dan penuaan lebih cepat dari kulit,
- mata manusia, dengan peningkatan katarak,
- Sistem kekebalan manusia, dan
- biomassa darat dan laut, dengan penurunan hasil panen dan jumlah fitoplankton.

Tugas 3.2:

Buat artikel singkat secara berkelompok tentang kerusakan lapisan ozon di stratosfir. Isi artikel harus dapat menyingkap rahasia lapisan ozon stratosfir, bagaimana terbentuknya, apa manfaatnya bagi alam sekitar kita, dan bagaimana lapizan ozon stratosfir bisa rusak, apa penyebabnya, serta bagaimana cara mengatasi kerusakan lapisan ozon stratosfir?. Presentasikan hasilnya di depan kelas.

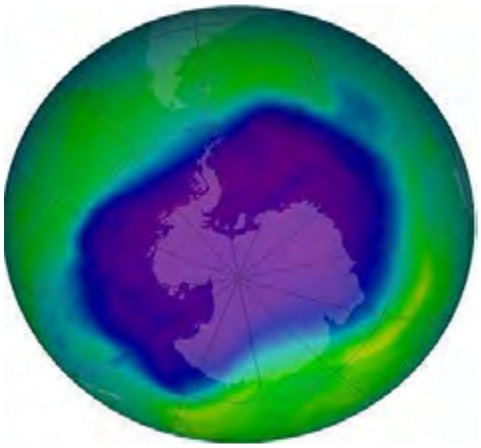
Ozone Depletion Potential (ODP)

ODP merupakan angka yang menggambarkan tingkat perusakan lapisan ozon di stratosfir yang disebabkan oleh zat perusak ozon. ODP merupakan angka perbandingan antara dampak pada ozone dari suatu zat kimia dibandingkan dengan ODP yang ditimbulkan oleh R11 yang dianggap sebesar 1. Jadi jika ODP yang ditimbulkan oleh R-11 dinyatakan 1.0. Maka senyawa CFC dan HCFC memiliki rantang ODP dari 0.01 hingga 1.0. Halons memiliki ODP bervariasi hingga mencapai 10. Carbon tetrachloride memiliki ODP: 1.2 dan methyl chloroform memiliki ODP: 0.11. HFC memiliki ODP nol sebab ia tidak mengandung klorin. Data ODP untuk seluruh zat perusak ozon diperlihatkan dalam Table 2.2.

Sebagai contoh, sebuah zat campuran dengan ODP = 0.2 berati memiliki potensi berbahaya sebesar seperlimanya R-11.

CFC dianggap memiliki halogenasi secara penuh. Yang berarti tidak memiliki atom hidrogen, hanya memiliki atom halogen (chlorine, fluorine, bromine, dll). Seperti tela h disebutkan di muka, refrijeran dengan atom hidrogen dikenal dengan sebutan *HCFC* (misalnya, seperti R-22, R-123, R-124, R-141b, dan R-142b); mereka tidak memiliki haloginasi penuh sehingga sedikit lebih stabil dibandingkan CFC. komputasi nilai ODP untuk kelompok refrijeran HCFC sangat rendah (berkisar antara 0.01 hingga 0.08) dibandingkan terhadap estimasi nilai ODP untuk kelompok CFC (berada dalam order 0.7 hingga 1, untuk R-11, R-12, R-113, dan R-114 serta 0.4 untuk R-115). Itulah alasan mengapa Montreal Protocol menetapkan pengurangan konsumsi (phase out) CFC sebagai tujuan utama. Ada beberapa refrijeran tanpa senyawa klorin yang memiliki nilai estimasi ODP nol. Refrrigeran ini lazim disebut dengan istilah HFC. Beberapa contoh refriigeran yang masuk dalam kelompok HFC adalah R-125, R-134a, R-143a, and R-152a.

Kegiatan penelitian dan pengembangan yang terpusat kepada isu pengurangan lapisan ozon di stratosfir telah sepakat CFC merupakan penyebab utama penipisan lapisan ozon di startosfir. Perusakan lapisan ozon dan efek rumah kaca (*Ozone layer depletion and the greenhouse effect*) merupakan masalah utama lingkungan yang meningkat akibat penggunaan CFC. Pada tahun 1974, Molina dan Rowland melakukan observasi adanya ketidaknormalan lubang ozon di kawasan Antartika. Mereka menemukan adanya hubungan langsung dengan penggunaan CFC.



Gambar 3.2 Fenomena Lubang Ozon Stratosfir

Pada tahun 1977, 3 tahun setelah Molina dan Rowland mempresentasikan hipotesisnya tentang penipisan lapisan ozon karena penggunaan CFC, lembaga dunia UNEP (United Nations Environment Program) mengoragnisasi konferensi tingkat dunia untuk memulai aksi penyelamatan lingkungan global. Sejak itu, masalah lingkungan tersebut telah menjadi bahan diskusi dan simposium tingkat dunia. Pada 19 September 1987, 24 negara menyepakati perjanjian internasional yang berlangsung di Montreal yaitu *Protocol on Substances Depleting the Ozone Layer*. Perjanjian internasional yang berlangsung di montreal selanjutnya lazim disebut sebagai Montreal Protocol merupakan kesepakatan internasional untuk mengurangi konsumsi bahan perusak ozon. Montreal Protocol dan amandemennya mengontrol penguranga secara gradual (phaseout) produksi dan penggunaan zat perusak ozon (ODS).

Protokol Montreal sepakat mengurang konsumsi CFC dengan jadwal sebagai berikut (mulai 1 Juli 1993 mengurangi konsumsi 20% dari konsumsi tahun 1986, dan pengurangan 50% komsumsi tahun 1998). Sebagai tambahan, pada konferensi lanjutan di Helsinki pada bulan Mei 1989 jumlah negara yang merataifikasi protokol Montreal bertambah menjadi 70 negara demikian juga ketika diadakan konferensi lanjutan di London pada bulan Juni 1990 hampir seluruh negara menyetujui protokol Monteral.

Setelan Montreal Protocol, ada upaya yang luar biasa di industri refrigerasi dan tata udara untuk mencari pengganti CFC yang ramah lingkungan. Dalam hal ini, khususnya aspek termodinamika dari refrijeran pengganti, konsekuensi bagi efisiensi sistem operasi dan suhu operasi yang diinginkan dan tekanan untuk peralatan pendingin konvensional, sedang diselidiki. Baru-baru ini, telah terjadi peningkatan minat dalam penelitian dan pengembangan di banyak daerah, misalnya, fenomena ekologi, toksikologi fluida, termodinamika dan sifat teknologi dari pendingin dan peralatan alternatif, dan penggunaan siklus dan sistem baru.

2. Pemanasan Global

Walaupun, istilah efek rumah kaca (*greenhouse effect)* telah digunakan secara umum bagi peranan udara atmosfir (utamanya uap air dan awan) dalam menjaga suhu permukaan bumi, yang dikaitkan dengan kontribusi CO2 (saat ini, telah didapat estimasi kontribusi CO2 sebesar 50% terhadap antropogenik efek rumah kaca. Tetapi, beberapa senyawa gas lainnya seperti CH4, CFC, halon, N2O, ozone, dan peroxyacetylnitrate (*greenhouse gases*) yang diproduksi industri dan aktivitas rumah tangga dapat juga berkontribuai terhadap efek rumah kaca, yang hasilnya terjadi peningkatan suhu bumi.

Pada fenomena efek rumah kaca, cahaya matahari mencapai bumi dan menjaga suhu bumi pada besaran rata-rata sekitar +15 ◦C. Sebagian besar cahaya inframerah yang dipantulkan oleh bumi ditangkap oleh CO2, H2O, dan substansi lain (termasuk CFC) yang berada di atmosfir sehingga menghalangi mereka kembali ke angkasa. Peningkatan efek rumah kaca akan menghasilkan kenaikan suhu secara mendadak dan ini juga berkaitan dengan aktivitas manusia khususnya emisi bahan bakar dari fosil.

Peningkatan efek rumah kaca akan memberikan hasil akhir sebagai berikut:

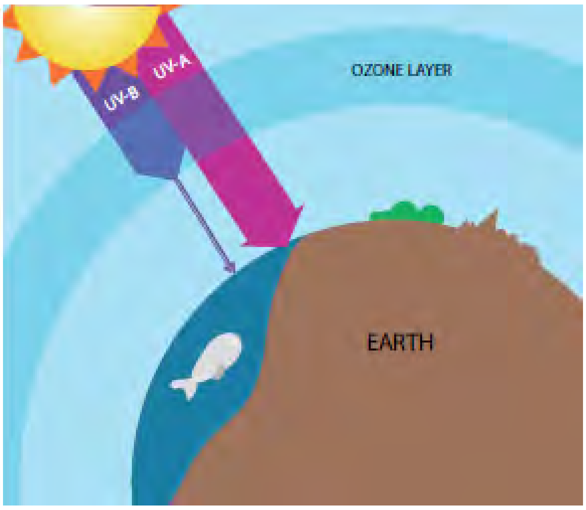
- Peningkatan suhu bumi (estimasinya 3 sampai 5 ◦C pada tahun 2050),
- Peningkatan permukaan air laut (estimasinya 20 cm pada tahun 2050), dan
- Efek cuaca (peningkatan terjadinya kekeringan, hujan, salju, pemanasan suhu, dan pendinginan).

Peningkatan konsentrasi CFC di atmosfer telah menyumbang sekitar 24% dari peningkatan langsung dalam pemanasan radiasi dari gas rumah kaca selama dekade terakhir. Namun, penurunan yang diamati dalam ozon stratosfir, dianggap terhubung meningkatkan klorin stratosfir dari CFC, menunjukkan pemanasan radiasi negatif atau kecenderungan pendinginan selama dekade terakhir.

Pelepasan CFC ke atmosfir mempengaruhi iklim dalam dua cara yang berbeda, yaitu:

• CFC adalah gas rumah kaca yang sangat berbahaya (relatif terhadap CO2) karena kuatnya fitur intensitas IR Band, dan mampu bertahan cukup lama di atmosfer.

• CFC menguras lapisan ozon stratosfir yang mempengaruhi suhu permukaan bumi dalam dua cara: lebih banyak radiasi matahari mencapai permukaan bumi di bawah sistem troposfer, sehingga iklim lebih hangat dan cenderung untuk menurunkan suhu stratosfir dan, karenanya lebih sedikit radiasi IR dilewatkan ke permukaan bumi di bawah sistem troposfer, sehingga suhu permukaan tanah menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, efek akhir sangat tergantung pada ketinggian di mana perubahan ozon terjadi.



Gambar 3.3 Radiasi Sinar Matahari

3. Refrijeran

Menurut para ahli fluida penukar kalor (refrijeran) primer dapat diklasifikasikan menjadi 5 kelompok, yaitu:

- *halocarbon,*
- *hydrocarbon (HCs),*
- *inorganic compouns,*
- *azeotropic mixturs, dan*
- *nonazeotropic mixturs.*

Halocarbon

Susunan molekul Halocarbon terdiri dari satu atau lebih dari tiga unsur, yaitu halogen, chlorine, fluorine, atau bromine, dan digunakan luas pada sistem refrigerasi dan tata udara sebagai fluida penukar kalor (refrijeran). Refrijeran ini lebih dikenal dengan sebutan: Freon, Arcton, Genetron, Isotron, dan Uron.

Dalam kelompok ini, halocarbon, terdiri dari chlorine, fluorine, dan carbon, oleh karena itu refrijeran jenis ini lazim disebut sebagai *chlorofluorocarbons (CFC*). Disamping digunakan sebagai refrijeran CFC lazim digunakan sebagai bahan pembersih kimiawi (*solvent*), dan bahan pemadam kebakaran (*foam-blowing agent*). Refrijeran yang berada dalam kelompok CFC antara lain CFC-11 atau R11, CFC-12 atau R-12, CFC-113 atau R-113, CFC-114 atau R-114, dan CFC-115 atau R-115. Walaupun CFC seperti R-11, R-12, R-22, R-113, dan R-114 merupakan refrijeran yang lazim digunakan di dalam industri refrigerasi dan tata udara, tetapi kelompok ini juga lazim digunakan di industri sebagai bahan aerosol, pemadam kebakaran, dan larutan pembersih. Saat ini pemakaian CFC berkurang sangat drastis akibat adanya kesepakatan bersama untuk mengurangi konsumsi CFC yang tidak ramah lingkungan karena dapat merusak lapisan ozon di stratosfir menimbulkan efek rumah kaca.

Karakteristik penting CFC adalah tidak berbau, *nontoxic*, dan berat jenisnya lebih besar dibandingkan udara. Oleh karena itu dapat menimbulkan gangguan yang membahayakan keselamatan manusia jika tidak ditangani dengan layak. Isapan nafas di area yang terkontaminasi dengan CFC dengan konsentrasi yang tinggi tidak dapat terdeteksi oleh manusia dan dapat berakibat fatal karena dapat mengalami kekurangan oksigen yang disebabkan oleh kebocoran CFC di suatu ruangan tertutup.

Pembakaran produk CFCs terurai menjadi *phosgene, hydrogen fluoride, dan hydrogen chloride*, yang sangat beracun jika terhisap oleh manusia.

Walaupun kelompok CFC tidak identik dalam performansi dan komposisinya, kelompok refrijeran ini memiliki kesamaan dasar dalam susunan kimiawinya. Dalam keluarga CFC ini, terdapat komponen lain seperti *halon, carbon tetrachloride*, dan *perfluorocarbon* (PFC). Halon merupakan bahan campuran yang terdiri dari senyawa *bromine, fluorine, dan carbon*. *Halon* (misalnya, *halon 1301 dan* halon 1211) digunakan sebagai bahan pemadam kebakaran *(fire extinguishing agent*), keduanya merupakan sistem built-in dan digunakan pada peralatan *portable fire extinguisher*. Di beberapa negara, produksi *Halon* sudah dilarang, misalnya di Amerika Serikat produksi halon dilarang sejak 31 December 31 1993 karena konteribusinya terhadap perusakan lapisan ozon. Halon merusak lapisan ozon di stratosfir karena mengandung *bromine*. *Bromine* meiliki sifat perusak ozon yang auh lebih efektif dibandingkan dengan *chlorine*.

Carbon tetrachloride (CCl 4) merupakan bahan campuran yang terdiri dari senyawa satu atom *carbon* dan empat atom *chlorine. Carbon tetrachloride* digunakan secara luas sebagai bahan mentah di banyak aplikasi industri, termasuk produksi CFC, dan sebagai bahan larutan pembersih (*solvent*). Penggunaan bahan larutan pembersih juga diakhiri ketika ditemukan mengandung *carcinogenic*. Senyawa tersebut juga digunakan sebagai katalisator pembentukan *ion chlorine* pada proses tertentu. PFC merupakan bahan campuran yang terdiri dari senyawa *carbon dan fluorine*.

PFC memiliki efek yang sangat tinggi terhadap pemanasan global dan dapat bertahan lama di atmosfir. Bahan ini tidak memiliki kontribusi terhadap perusakan lapisan ozon stratosfir, tetapi memiliki kontribusi besar terhadap pemanasan global.

Hydrocarbon (HC)

HC merupakan bahan kimia campuran yang terdiri dari senyawa *carbon dan hydrogen*. HC mencakupi bahan kimiawi seperti *methane, ethane, propane,*

cyclopropane, butane, dan *cyclopentane*. Walaupun HC meruapak bahan kimia yang sangat mudah terbakar, mereka memiliki kelebihan sebagai refrijeran alternatif karena biaya produksinya murah dan tidak merusak ozon startosfir, karena memiliki ODP = 0, dan potensi terhadap efek pemanasan global juga sangat rendah, serta tingkat *toxicity*-nya juga rendah.

Berikut ini disampaikan beberapa jenis keluarga HC:

• *Hydrobromofluorocarbon* (HBFC) merupakan bahan campuran yang terdiri dari *hydrogen, bromine, fluorine, dan carbon*.

• *Hydrochlorofluorocarbon* (*HCFC)* merupakan bahan campuran yang terdiri dari senyawa *hydrogen, chlorine, fluorine,* dan *carbon*. Bahan campuran HCFC ini merupakan salah satu bahan kimia yang direkomendasi dapat menggantikan bahan kimia CFC. Bahan ini masih mengandung senyawa chlorine sehingga masih memiliki kontribusi terhadap perusakan lapisan ozon stratosfir walaupun nilai ODP nya relatif kecil dibandingkan dengan CFC. HCFC memiliki nilai ODP berkisar antara 0.01 hingga 0.1. Produksi HCFC yang memiliki nilai ODP tertinggi akan dikurangi (*phased out*) pada tahap awal dan akan diikuti oleh bahan HCFC yang memiliki nilai ODP paling rendah..

• *Hydrofluorocarbon* (HFC) merupakan bahan kimia campuran yang terdiri dari *hydrogen, fluorine, dan carbon*. Bahan kimia ini dapat dipertimbangkan sebagai pengganti CFC, karena kenyataannya tidak mengandung senyawa *chlorine* atau *bromine* sehingga tidak berkontribusi terhadap perusakan lapisan ozon stratosfir. Seluruh keluarga HFC memiliki nilai ODP = 0. Beberapa keluarga HFC masih memiliki potensi tinggi terhadap pemanasan global (*high GWP*). Kodefisasi Keluarga HFC menggunakan standarisasi nomor dengan cara tertentu. Misalnya R134a, R404a, R707a, T410a dsb.

• *Methyl bromide* (CH3Br) merupakan bahan kimia campuran yang terdiri dari senyawa *carbon, hydrogen, dan bromine*. Bahan CH3Br ini merupakan bahan pestisida yang sangat efektif digunakan untuk memfumigasi tanah pertanian dan produk tanaman. Karena bahan ini mengandung *bromine*, maka memiliki kontribusi

terhadap perusakan lapisan ozon startosfir dengan nilai ODP = 0.6. Di beberapa negara produksi bahan kimia ini juga sudah dikurangi, misalnya di Amerika Serikat produksi *methyl bromide* dikurangi sejak akhir December 2000.

• Methyl chloroform (CH3CCl3) merupakan bahan kimia campuran yang terdiri dari *carbon, hydrogen, dan chlorine*. Banyak digunakan pada industri sebagai larutan pembersih. Bahan ini memiliki nilai ODP=0.11. Pada industri refrigerasi, bahan ini juga digunakan sebagai refrijeran, beberapa diantaranya adalah methane (R-50), ethane (R-170), propane (R-290), *n*-butane (R-600), dan isobutane (R-600a). .

Bahan Campuran In-organic

Walaupun bahan campuran in-organic ditemukan lebih awal, tetapi hingga saat ini bahan in-organic ini masih tetap digunakan sebagai bahan penukar kalor (refrijeran) di industri refrigerasi, dan tata udara. Beberapa contoh yang dapat diberikan di sini adalah ammonia (NH3), air (H2O), udara (0.21O2 + 0.78N2 + 0.01Ar), *carbon dioxide* (CO2), dan *sulfur dioxide* (SO2). Diantara bahan-bahan in-organik tersebut, ammonia telah mendapat atensi yang tertinggi pada praktik aplikasi di dunia usaha dan industri, hingga saat ini. Ini menarik. Berikut ini akan dibahas secara singkat dengan fokus pada tiga bahan in-organik yang paling populer, yaitu *ammonia, carbon dioxide,* dan udara.

Ammonia (R-717)

Ammonia merupakan gas yang tidak berwarna tetapi merupakan gas yang memiliki bau tajam menyengat sehingga dapat terdeteksi walaupun pada level konsentrasi yang rendah (misalnya, 0.05 ppm). *Liquid ammonia* menguap pada tekanan atmosfir pada suhu −33 ◦C. Gas amonia lebih ringan dibandingkan udara dan sangat mudah larut (soluble) di dalam air. Amonia memiliki kapabilitas termal yang tinggi untuk memberikan efek pendinginan (cooling), Amonia memiliki beberapa permasalahan yang terkait dengan sisi teknis dan kesehatan:

- Gas ammonia dapat membuat iritasi pada mata, tenggorokan, lubang pernafasan dan kulit. Walaupun, nampaknya para pekerja terlihat memiliki toleransi terhadap amonia, tetapi terlepasnya gas amonia di ruangan dengan tingkat antara 5 sampai 30 ppm dapat menyebabkan iritasi mata.

- terlepasnya gas amonia hingga mencapai level 2500 ppm dapat merusak mata dan menimbulkan kebutaan permanen, sesak nafas, kejang-kejang dan nyeri dada.
- timbulnya akumulasi fluida pada paru setelah beberapa jam menghirup gas amonia dapat berpotensi fatal pada kerusakan paru-paru-paru. Pengaruh non fatal akibat keracunan gas amonia adalah berkembangnya penyakit bronchitis, pneumonia, dan melemahnya fungsi paru-paru.
- Kulit yang terkena gas amonia pada level yang sangat tinggi menyebabkan iritasi kulit, terbakarnya kulit, dan kulit melepuh.
- Mata yang terkena liquid ammonia dapat menyebabkan kebutaan dan kulit yang terkena liquid amonia akan menyebabkan terbakar secara kimiawi.
- Ammonia merupakan gas yang mudah terbakar (flammable gas) dan formasi amonia yang tercampur dengan udara dengan perbandingan antara 16 sampai 25% berpotensi terjadi ledakan. Ammonia yang larut di dalam air tidak mudah terbakar.
- Ammonia bereaksi atau menghasilkan produk yang ekplosif bila tercampur dengan fluorine, chlorine, bromine, iodine, dan beberapa campuran kimiawi lainnya.
- Ammonia bereaksi dengan acid dan menghasilkan panas.
- gas ammonia berekasi dengan gas asam(misalnya, HCl) menghasilkan asap putih yang menimbulkan iritasi.
- Ammonia dan ammonia yang sudah terkontaminasi dengan oli harus dibuang sesuai prosedur yang berlaku atau mengikuti aturan setempat.

Disamping banyak kekurangan, amonia juga memiliki kelebihan, yaitu merupakan bahan penukar kalor (refrijeran) yang memiliki karakteristik termal terbaik dan kenyataanya kekurangan amnia dapat diatasi dengan disain dan kontrol yang cermat sehingga dapat menghilangkan potensi bahayanya.

Carbon Dioxide (R-744)

Carbon dioxide merupakan salah satu jenis refrijeran in-organik yang paling tua. R-744 ini tidak berwarna, tidak berbau, *nontoxic*, tidak mudah terbakar (*non fammable*)

dan tidak mudak meledak (*nonexplosive*) dan dapat digunakan pada sistem cascade refrigeration dan produk *dry-ice*, serta pada aplikasi pembekuan makanan.

Udara (R-729)

Udara lazim digunakan pada sistem refrigerasi dan tata udara di dalam pesawat. Udara yang digunakan sebagai refrijeran memiliki *coefficient of performance* (COP) rendah karena rendahnya berat jenis udara. Pada beberapa instalasi refrigerasi, udara dapat digunakan untuk membekukan produk makanan secara cepat.

Azeotropic

Refrijeran yang terdiri dari campuran azeotropic terdiri dari dua benda yang memiliki karakteristik berbeda tetapi dapat menjadi benda tunggal. Dua benda tersebut tidak dapat dipisahkan melalui destilasi. Refrijeran dari keluarga azeotropic adalah R-502, yang terdiri dari 48.8% R-22 dan 51.2% R-115. Nilai COP keluarga refrijeran ini lebih tinggi daripada R-22 dan tingkat toxicity-nya menjadi lebih rendah sehingga memiliki peluang besar untuk digunakan pada sistem refrigerasi untuk keperluan rumah tangga dan industri pengawetan makanan. Cnotoh lain keluarga azeotropic refrijeran adalah R-500 (73.8% R-12 + 26.2% R-152a), R-503 (59.9% R-13 + 40.1% R-23), dan R-504 (48.2% R-32 + 51.8% R-115).

Non-azeotropic

Refigeran dari keluarga *non-azeotropic* merupakan fluida penukar kalor yang terdiri dari berbagai komponen yang memiliki perbedaan secara *volatil*, yakni ketika digunakan dalam siklus refrigerasi, mereka akan mengalami perubahan komposisi pada saat proses evaporasi dan kondensasi. Dewasa ini, refrijeran *non-azeotropic* lazim disebut sebagai *zeotropic blend*. Aplikasi refrijeran *non-azeotropic* dalam sistem refrigerasi telah diperkenalkan sejak awal abad 15. Sejak saat itu telah dilakukan penelitian yang sangat intensif untuk mendapatkan data tentang karakteristik termofisiknya. Hasilnya menunjukkan, refrijeran *non-azeotropic* sangat tepat digunakan untuk aplikasi heat pump, karena komposisinya yang sangat adaptable terhadap dimensi layout dan disain Sistem kompresi. Menghadapi krisi energi pada tahun 1970, refrijeran *non-azeotropic* menjadi semakin menarik

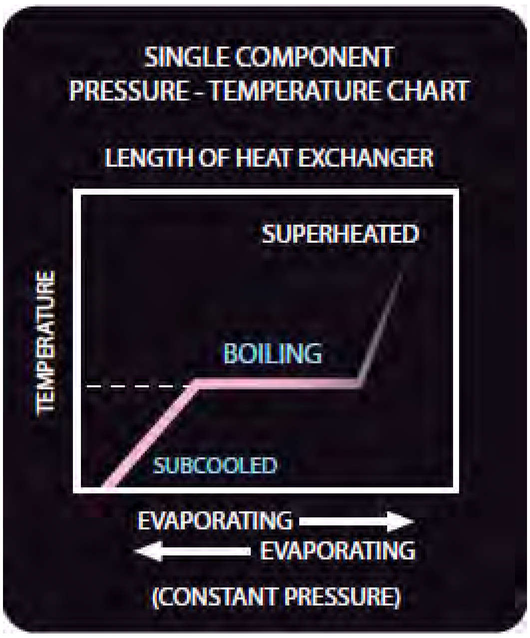
perhatian para ilmuwan untuk melakukan penelitian dan pengembangan pada sistem heat pump dengan menerapkan sistem kompresi uap.

Mereka menawarkan keuntungan sebagai berikut:
• perbaikan dan penghematan energi,
• pengontrolan kapasitas, dan
• adaptasi pada komponen perangkat keras terhadap batasan kapasitas dan aplikasi.

Pada tahap selanjutnya, hasil studi menunjukkan bahwa penggunaan refrijeran R-11, R-12, R-22, dan R-114 menjadi paling populer, walaupun banyak refrijeran campuran non-azeotropic telah diperkenalkan (seperti, R-11 + R-12, R-12 + R-22, R-12 + R-114, R-13B1 + R-152a, R-22 + R-114, dan R-114 + R-152a, dll.). Pada dekade selanjutnya penelitian dan pengembangan hanya terpusat pada bahan campuran R-12 + R-114, R-22 + R-114, dan R-13B1 + R-152a. Ini diakibatkan fenomena transfer panas selama perubahan fasa yang ditimbulkan oleh campuran non-azeotropic semakin komplikatif dibandingkan dengan refrijeran dengan komponen tunggal.

Singkatan dan Kodefikasi Refrijeran

Berbagai refrijeran (seperti CFC, HC, HCFC, HBFC, HFC, PFC, dan halon) diberi nomor kode sesuai dengan dekade pembuatannya dan penggunaannya. Walaupun agak membingungkan, kenyataanya memuat informasi yang sangat rumit tentang struktur molekul dan juga untuk memudahkan membedakan berbagai kelas kimiawinya. Pada prakteknya, sangat penting untuk memahami singkatan refrijeran dan artinya, serta pengkodeaanya. Dalam sesi ini, diberikan tiga subsesi yaitu singkatan, dan nomor kodefikasi, (EPA, 2009).



Gambar 3.4 Kondensasi dan evaporasi bahan Campuran Acetropic

Singkatan

Beberapa nama singkatan refrijeran adalah CFC, HCFC, HFC, PFC, dan Halon. Pada CFC dan HCFC, huruf pertama –C” berarti *chlorine* (Cl), dan huruf –F” berarti *fluorin*e (F), –H” adalah *hydrogen* (H), dan huruf terakhir –C” adalah *carbon* (C). PFC adalah singkatan dari *perfluorocarbon*. –*per*” berarti –*all*” sehingga PFC memiliki seluruh ikatan yang ditempati atom *fluorine*.

Konsekuensinya, halon adalah istilah umum dari campuran yang terdiri dari senyawa C, F, Cl, H, dan Br. Tetapi khusus untuk Halon pengkodeannya berbeda dengan refrijeran lainnya. Sebagai contoh, HFC tidak mengandung *chlorine*, sehingga tidak mengandung atom Cl.

Table 3.1 memperlihatkan nama singkatan berbagai refrijeran dan senyawa atom yang dikandungnya.

Untuk memudahkan pengkodean refrijeran, digunakan pula singkatan –R-” yang berarti –Refrijeran.” Sebagai contoh, CFC-12 disebut juga sebagai R-12 atau Refrijeran 12.

Tabel 1.1 Nama Singkatan Refrijeran dan Atom yang dikandungnya

Nama Campuran	Singkatan	Kandungan Atom
Chlorofluorocarbon	CFC	Cl, F, C
Hydrochlorofluorocarbon	HCFC	H, Cl, F, C
Hydrobromofluorocarbon	HBFC	H, Br, F, C
Hydrofluorocarbon	HFC	H, F, C
Hydrocarbon	HC	H, C
Perfluorocarbon	PFC	F, C
Halon	Halon	Br, Cl atau F, H atau C

Perpaduan antar refrijeran (*Blend*) diberi penomoran secara serial. Perpaduan refrijeran pertama dari keluarga *zeotropic blend* yang diberi nomor kode R-400 dan perpaduan refrijeran pertama dari keluarga *azeotropic blend* yang diberi nomor kode R-500. Perpaduan refrijeran yang mengandung komponen sama tetapi berbeda dalam prosentasenya diberi kode huruf kapital, sebagai contoh, R-401A terdiri dari 53% HCFC-22, 13% HFC-152a, dan 34% HCFC-124, sedangkan R-401B terdiri dari 61% HCFC-22, 11% HFC-152a, and 28% HCFC-124.

Nomor Kode Refrijeran

Pemakaian singkatan nama refrijeran berhubungan dengan senyawa atom yang terkandung dalam molekul refrijeran yang bersangkutan. Kemudian pengkodean nomor refrijeran berkaitan dengan jumlah atom yang dikandungnya. Kunci untuk membuka tabir nomor kode refrijeran adalah penambahan nomor kode refrijeran dengan bilangan genap 90, hasilnya menunjukkan jumlah atom C, H, dan F. Misalkan refrijeran HCFC-141b:

141 + 90 = 231 → refrijeran tersebut teridri dari 2 *(*atom C*)* 3 *(*atom H*)* 1*(*atom F*)*

Penambahan informasi masih diperlukan untuk menterjemahkan jumlah atom Cl (*Chlorine*). Seluruh senyawa kimiawi tersebut saturasi, sehingga mereka hanya mengandung ikatan tunggal. Jumlah ikatan yang tersedia di dalam molekul *carbon* adalah 2C + 2. Jadi untuk HCFC-141b, yang memiliki dua atom C, akan memiliki

enam ikatan. Atom Cl menempati sisa ikatan setelah atom F dan atom H. Sehingga HCFC-141b memiliki dua atom C, tiga atom H, satu atom F, dan dua atom Cl. Jadi HCFC-141b = C2H3FCl2. Hurub ―b” yang terletak pada akhir nomor kode menjelaskan bagamana atom-atom tersebut tersusun, beda ―*isomer*-nya” yakni, memuat atom yang sama, tetapi berbeda susunannya.

Mari kita lihat untuk nomor kode refrijeran dari keluarga HFC, yaitu HFC-134a:
134 + 90 = 2 (#C) 2 (#H) 4(#F).
Refrijeran ini memiliki enam ikatan atom. Tetapi dalam kasus ini, tidak ada ikatan sisa setelah atom F dan H, sehingga HFC tidak mengandung atom Cl. Susunan atom HFC adalah: HFC-134a = C2H2F4, di mana nama singkatan yang dikenakan padanya sangat tepat, yaitu hanya mengandung atom H, F, dan C, tanpa atom Cl.
Catatan molekul yang hanya mengandung atom C (misalnya CFC-12) akan memiliki dua digit nomor, sedangkan molekul yang memiliki dua atom C atau tiga ataom C akan memiliki tiga digit nomor.

Nomor kode untuk halon memperlihatkan jumlah atom C, FG, Cl, dan Br yang dikandungnya secara langsung. Pada sistem kode nomor yang telah dibahas sebelumnya, skema jumlah atom yang terkandung dalam molekul refrijeran tidak menjelaskan jumlah atom Cl, tetapi bisa dihitung, sehingga perlu informasi tambahan untuk mengetahui jumlahnya. Demikian juga pada halon, nomor kode yang tertulis pada satu jenis halon tidak menjelaskan jumlah atom H secara langsung, dan tidak perlu penambahan angka untuk membuka tabir rahasia nomor kodenya. Sebagai contoh, Halon 1211.
Halon 1211 = 1 (#C) 2 (#F) 1(#Cl) 1(#Br)
Molekul ini memiliki 2 × 1 + 2 = 4 ikatan, keseluruhannya ditempati oleh atom Cl, F, dan Br, tidak meninggalkan ruang untuk atom H. Jadi, Halon 1211 = CF2ClBr

Isomer

*Isome*r dari suatu senyawa mengandung atom yang sama tetapi susunan atomnya berbeda. Isomer biasanya memiliki sifat yang berbeda, hanya satu isomer yang dapat berguna. Karena semua senyawa yang dibahas didasarkan pada rantai ikatan karbon (atom karbon 1-3 melekat dalam garis ikatan tunggal: misalnya, C-C-C), sistem

penamaan didasarkan pada bagaimana atom H, F, Cl, dan Br yang melekat pada rantai itu. Sebuah atom C tunggal hanya dapat terikat dengan empat atom lain dalam satu rantai ikatan, sehingga tidak ada isomer dari senyawa tersebut. Untuk dua molekul-C, indek huruf kecil tunggal yang mengikuti kode nomor menunjukkan isomer tersebut. untuk tiga molekul-C, kode indek dengan dua huruf kecil.

Sebagai contoh, mari kita tinjau dua molekul C, misalnya, HCFC-141, HCFC-141A, dan HCFC-141b di mana semua memiliki atom yang sama (dua atom karbon, tiga atom hidrogen, satu atom fluorin, dan dua atom klorin) tetapi disusun secara berbeda. Untuk menentukan huruf indek, dilakukan dengan menjumlahkan berat atom dari semua atom yang terikat dengan atom karbon. Distribusi berikutnya adalah dengan memberi huruf indek "a" isomer, selanjutnya adalah "b", dan seterusnya, sampai tidak ada lagi isomer yang mungkin. Cara yang umum penulisan struktur isomer adalah mengelompokkan atom sesuai ikatannya dengan atom karbon atomi. Dengan demikian, isomer dari HCFC-141 adalah sebagai berikut:

• HCFC-141:
• HCFC-141a:
• HCFC-141b:

CHFCl—CH2Cl (atomic weights on the 2C = 37.5 and 55.5)

CHCl2—CH2F (atomic weights on the 2C = 21 and 72)

CFCl2—CH3 (atomic weights on the 2C = 3 and 90)

Isomer untuk HFC-134, sebagai berikut:

• HFC-134:
• HFC-134a:

CHF2—CHF2

CF3—CH2F

Oli Refrigeran

Seperti telah kalian ketahui, bahwa oli lubrikasi ditampung crankcase compressor sehingga oli akan bercampur dengan refrigerant. Oli lubrikasi harus dapat menyatu dengan refrigerant, ia akan berdampak pada sifat thermodynamic refrigerant. Efek utama penurunan tekanan gas refrigeran tergantung pada sifat oli lubrikasi dan sifat refrigerant dan bagaimana kedua zat tersebut menyatu. Refrigerants diharapkan memiliki kestabilan dari sisi fisik dan kimiawi dengan adanya oli lubrikasi, sehingga refrigerant dan oil akan saling mempengaruhi satu sama lainnya. Sebagai contoh, pada sistem dengan ammonia jumlah oli lubrikan hanya memiliki efek sangat kecil. Tetapi, dengan HC refrigerants jumlah oli lubrikan akan berpengaruh besar terhadap HC refrigerants.

Ukuran besaran pengaruh oli tergantung kondisi operasi sistem – pada kondisi operasi normal dengan high-quality oil pada dry and clean system reaksi menjadi kecil untuk menimbulkan efek. Tetapir, jika ada contaminants udara kering atau auap air di dalam system dengan low-quality oil, berbagai masalah akan muncul termasuk adanya decomposisi oli lubrikan dan formasi korosif serta endapan kerak. Aspek lain yang akan muncul adalah kecenderungan timbulnya akselerasi kenaikan suhu discharge. Di pasaran telah tersedia larutan khusus untuk memeriksa tingkat kontaminasi oli lubrikan, yaitu Acid Test Kit (Gambar 3.4)



Gambar 3.4 Acid Test Kid

Yang harus diperhatikan adalah oli lubrikan dan refrigeran harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, yaitu yaitu oil miscibility, yang dinyatakan sebagai kemampuan refrigerant menyatu dengan oli lubrikan dan sebaliknya..

Dengan mengacu pada oil miscibility, refrigerants dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu (Dossat, 1997): refrigeran yang dapat miscible dengan oli lubrikan pada seluruh proporsi kondisi yang ada di dalam sistem refrigerasi, Refrigeran yang dapat miscible di bawah kondisi normal pada seksi condensing, tetapi terpisah dengan oli lubrikan di bawah kondisi normal pada eveporator, dan • refrigeran yang tidak miscible dengan seluruh oli lubrikan.

Kekentalan (viskositas) oli lubrik yang harus dijaga pada batas tertentu agar supaya dapat membentuk protective film antara berbagai rubbing surfaces. Sebagai contoh, jika viscositas terlalu rendah, oli lubrikan tidak berfungsi dengan baik; jika terlalu tinggi, oli lubrikan tidak mencukupi untuk membuat penetrasi ke bagian tersebut. Pada kedua kasus oli lubrikan tidak akan mencukupi kebutuhan compressor.

Yang penting adalah menjaga sedikit mungkin sirkulasi oli lubrikan dalam refigeran, maka perlu dilengkapi dengan oil separator atau trap lazim dipasang pada sisi discharge line compressor.

Menurut (Kramer, 1999) HFC refrigerants dan campurannya (blend) tidak miscible dengan mineral oil. Demikian juga jika tetap mempertahankan mineral oil pada saat melakukan retrofitting akan dapat menimbulkan masalah besar. Dalam prakteknya, satu pertanyaan besar yang muncul, adalah: Mengapa kita masih mempertahankan mineral oil? Berikut adalah faktor yang mendorong tetap menggunakan mineral oil dalam sistem dengan HFC refrigerants: • biaya lebih murah • penggantian refrijeran langsung, • solubilitas lebih rendah, • viskositas dapat ditingkatkan, • mengurangi refrigerant charge, • Start-up lebih cepat, • mengurangi slugging dan kapasitas heaters, • mengurangi banjir pada oil separator, • mengurangi hygroscopicity, • mengurangi reaksi kimia, • mengurangi electrical resistivity, dan • mengurangi pemindahan kotoran.

Penggunaan mineral oil dengan refrigeran HFC lebih diutamakan dengan lubrikan jenis polyol ester (POE) karena beberapa keuntungan, yaitu • pemeriksaan visual lebih baik, • menyatu dengan air dan kurang memiliki dampak lingkungan, dan • meningkatkan karakteristik foaming (mendorong pelumasan bantalan dan mengurangi suara bising).



Gambar 3.5 Berbagai Macam Oli Lubrikan



Gambar 3.6 Kemasan Mineral Oil Refrigerant



Gambar 3.7 Kemasan Poliol Ester (POE) Refrigerant

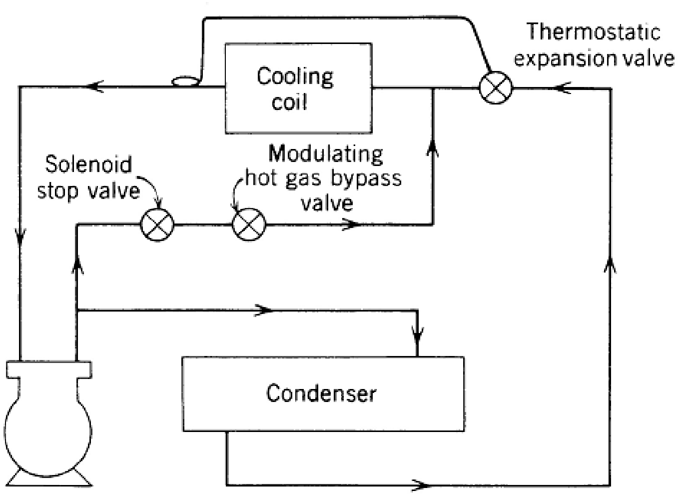
Permasalahan:

1. Apa fungsi refrijeran di dalam sistem refrgerasi kompresi uap?
2. Sebutkan kelebihan sistem kompresi uap dibandingkan dengan sistem absorbsi?
3. Jelaskan maksud refrijeran yang ramah lingkungan?
4. Jelaskan sifat thermodinamik R12 dan R134a
5. Jelaskan sifat thermodinamik R22 dan R407c
6. Jelaskan arti saturasi, super heat dan sub cooled?
7. Sebutkan jenis refrijeran yang mudah terbakar?
8. Bagaimana bila tangan kita terkena semprotan refrijeran dalam wujud liquid?
9. Tindakan apa yang harus segera dilakukan bila kita terkena liquid refrijeran
10. Jelaskan arti dari istilah ODP
11. Identifikasi wujud refrijeran dalam kondisi berikut:

- R12, suhu 6 ^{0}C, tekanan 40 psi :
- R12, suhu 9 ^{0}C, tekanan 40 psi :
- R12, suhu 44 ^{0}C, tekanan 125 psi :
- R22, suhu 10 ^{0}C, tekanan 535 psi :
- R22, suhu -10 ^{0}C, tekanan 37 psi :

D. Kegiatan Belajar 4:
Melakukan Pekerjaan Pemipaan Refrigerasi

System refrijerasi kompresi uap, terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, katub ekspansi dan evaporator. Kempat komponen utama tersebut saling dihubungkan dengan menggunakan pipa.



Gambar 4.1 Pemipaan pada system refrigerasi

Pekerjaan pemipaan refrijerasi adalah pekerjaan utama dalamperakitan atau pemeliharaan peralatan refrijerasi. Ada empat prinsip yang harus dijadikan acuan oleh setiap teknisi, yaitu

(1) Mengetahui apa yang akan dilakukan
(2) Memilih alat dan bahan dengan tepat
(3) Menjaga alat dan baha dalam kondisi bersih dan kering
(4) Mengutamakan dan mengikuti prosedur keselamatan kerja

Kegiatan belajar ini dipersiapkan untuk memberikan pengetahuan yang diperlukan oleh setiap personil dan teknisi yang bergerak di bidang refijerasi dan tata udara. Sebagai contoh, pekerjaan yang harus dilakukan adalah menyambung pipa

dengan pengelasan. Agar penyambungan dapat dilakukan dengan bagus, maka pengetahuan tentang pipa dan pengelasan pipa harus dikuasai dengan baik.

Pipa yang banyak digunakan dalam peralatan refrijerasi dan tata udara adala pipa tembaga. Pipa lain yang sering digunakan adalah pipa alumunium, pipa baja, pipa baja tahan karat, dan pipa plastik.

Pemilihan ukuran pipa yang digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Drop tekanan harus sekecil mungkin
- Dapat mengalirkan bahan refrigerant sesuai dengan perencanan atau kecepatan sirkulasi refrigerannya sesuai.

Kalau pipa yang digunakan terlalu kecil akan mengakibatkan:

- Kerugian gesekan
- Bunyi yang keras dan bising karena kecepatan yang tidak sesuai

Kalau pipa yang digunakan ukurannya terlalu besar akan mengakibatkan :

- Kegagalan pengembalian minyak/oli kompresor
- Pengeringan minyak/oli kompresor yang akhirnya kompresor menjadi macet

1. Pipa Tembaga

Hampir semua pipa tembaga yang digunakan pada pekerjaan refrigerasi dan tata udara dikenal dengan pemipaan refrigerasi. Pipa refrigerasi ini dirancang untuk refrigerasi dan tata udara, yang diproses agar memiliki karakteristik yang diinginkan.

Pemipaan refrigerasi biasanya diisi dengan gas nitrogen. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga pipa bagian dalam tetap bersih, kering sebelum digunakan. Nitrogen harus dimasukkan ke dalam pipa selama operasi soldering dan brazing.

Nitrogen akan mengeliminasi bahaya oksidasi yang terjadi di dalam pipa. Bagian dalam pipa untuk keperluan mesin pendingin harus dijaga agar tetap kering dan biasanya dibersihkan dengan menggunakan nitrogen. Ujung-ujung pipa jangan dibiarkan terbuka dan harus ditutup agar tidak terkontaminasi udara luar (uap air) atau kotoran lainnya dengan cara digepengkan ataupun ditutup dengan penutup khusus.

Pipa tembaga pada umumnya dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

1. Pipa tembaga lunak (*Soft*)

2. Pipa tembaga keras (*Hard*)

Untuk keperluan pemipaan refrigerasi lazimnya digunakan pipa tembaga tipe L. Di pasaran pipa tembaga dijual dalam bentuk rol, dengan panjang 25 inci, 50 inci, dan 100 inci setiap rol.

Perlu kehati-hatian ketika akan membeli pipa tembaga untuk keperluan pemipaan refrigerasi, karena di pasaran ada pipa tembaga tetapi kegunaannya hanya untuk keperluan instalasi air hangat atau untuk keperluan drainase, dan sudah pasti tidak cocok untuk keperluan pemipaan refrigerasi.



Gamabar 4.2 Pipa Tembaga Tipe M dan Tipe L

Pipa Tembaga Lunak

Pipa tembaga lunak biasanya digunakan pada mesin-mesin pendingin jenis domestic dan komersial. Pipa tembaga ini memiliki sifat kekerasan tertentu yang disebut ―*Annealed Copper Tubing"*, yaitu, pipa dipanaskan kemudian dibirkan mendingin sendiri. Hal ini membuat pipa tembaga menjadi lunak dan mudah dibentuk.

Pipa tembaga lunak mempunyai sifat khusus. Jika pipa dibengkokan berulang kali maka pipa tersebut akan menjadi keras dan kaku, sehingga mudah rusak, retak atau patah. Sifat ini dapat diperbaiki dengan cara memanaskan pipa tersebut sampai warnanya berubah menjadi merah atau ungu dan didinginkan secara perlahan-lahan di udara, selanjutnya pipa dapat dengan mudah dibentuk seperti semula. Pekerjaan ini dinamakan Proses ―ANNEALING".

Penyambungan pipa tembaga ini dapat dilakukan dengan dua cara , yaitu (1) pengelasan (brasing), (2) tanpa pengelasan, tetapi menggunakan flare fitting yang disebut sebagi flare nut, yaitu baut khusus untuk keperluan penyambungan secara cepat (flaring).

Pipa tembaga lunak ini biasanya diperjualbelikan di pasaran dalam bentuk rol dengan panjang yang bervariasi mulai dari 25 feet, 50 feet dan 100 feet dengan diameter luar (OD) dalam satuan inchi.. Pipa tembaga lunak biasanya digunakan untuk penyambungan dengan flare fitting.

Ukuran yang tersedia di pasaran adalah 3/16, ¼, 5/16, 3/8, 7/16, ½, 9/16, 5/8 dan ¾ inchi. Ketebalan pipa tergantung pada diameter luar pipa. Misalnya, pipa ¼ memiliki ketebalan 0,03 inchi. Pipa ¾ inchi, 0,35 inchi. Tabel 4.1 memperlihatkan data ketebalan pipa dari berbagai ukuran pipa.

Tabel 4.1 Daftar ukuran Pipa Tembaga Lunak

Diameter Luar Dalam Inci	Tebal dinding Dalam Inci
¼	0,030
3,8	0,032
½	0,032
5/8	0,035
¾	0,035
7/8	0,045
11/8	0,050
13/8	0,055

Pipa Tembaga Keras

Pipa tembaga keras biasanya digunakan pada mesin pendingin untuk keperluan komersial, dimana sifat pipa tembaga ini kaku dan keras, jadi pada saat pemasangan pipa tersebut harus dipasang klem atau penyangga sebagai tumpuan dan pengikatnya, apalagi jika ukuran diameter pipa yang digunakan ukurannya besar.

Pipa tembaga keras tidak dapat dibengkokkan, jadi harus menggunakan elbow bila diperlukan bengkokan. Penyambungan pipa hanya hanya dilakukan dengan sistem pengelasan dengan las perak (silver brazing) atau menggunakan flare fitting. Penyolderan hanya dilakukan untuk saluran tekanan rendah. Pipa tembaga keras ini

diperjualbelikan di pasaran dalam bentuk batangan, dimana setiap batangnya mempunyai panjang kurang lebih 7 meter (20 inci).

Ukuran Nominal Pipa Tembaga

Ukuran nominal pipa adalah tipe pipa yang digunakan pada pekerjaan saluran air hangat/dingim, drainase, dan aplikasi lainnya. Ukuran nominal pipa tembaga tidak pernah digunakan pada pemipaan refrigerasi. Pipa ini tersedia dalam bentuk pipa tembaga lunak dan keras. Tabel 4.2 memperlihatkan ukuran rinci berbagai pipa tersebut. Ketebalan pipa ditunjukkan dengan kode huruf setelah ukuran nominal. Untuk keperluan aplikasi, pipa tembaga ini menggunakan ukuran nominal. Bila kita ukur diameternya, maka akan sedikit lebih besar 1/8 inci dibandingkan ukuran nominalnya. Jika akan membeli fitting, maka ukuran fitting harus disesuaikan dengan ukuran diameter luar.

Tabel 4.2 Ukuran Pipa Tembaga

Ukuran Nominal Dalam Inci	Tipe	Diameter Luar	Tebal dinding
1/4	K	0,375 3/8	0,035
	L	0,375 3/8	0,030
3/8	K	0,500 1/2	0,049
	L	0,500 1/2	0,035
1/2	K	0,625 5/8	0,049
	L	0,625 5/8	0,040
5/8	K	0,750 3/4	0,049
	L	0,750 3/4	0,042
3/4	K	0,875 7/8	0,065
	L	0,875 7/8	0,045
1	K	0,125 11/8	0,065
	L	0,125 11/8	0,050

2. Pipa Alluminium

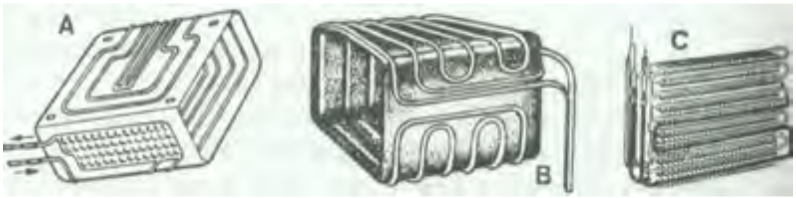
Pipa Alluminium banyak dipergunakan sebagai bahan evaporator. Daya hantar panas pipa alluminium ini tidak begitu baik jika dibandingkan dengan daya hantar panas pipa tembaga, dan harganyapun relatif lebih mahal.

Penyambungan atau pengelasan pipa alluminium tidak semudah penyambungan pipa tembaga, dimana harus menggunakan las khusus yang disebut las MIG, atau bisa juga dengan menggunakan kawat las Platinum 52 dengan campuran boraks atau fluks 52 dengan nyala api yang teratur, dimana apinya tidak

boleh bersentuhan secara langsung dengan fluks 52 yang telah dioleskan, disinipun diperlukan keterampilan las secara khusus.

Kasus kerusakan atau kebocoran evaporator pada mesin pendingin seringkali terjadi. Untuk mengatasinya jika kebocorannya tidak terlampau besar kebocorannya bisa di tutup dengan menggunakan lem APOXY atau HARDEX. Karena tekanan pada bagian evaporator adalah rendah, jadi dengan system pengeleman saja sudah cukup tanpa perlu pengelasan.

Gambar berikut menunjukan bentuk evaporator yang ada di pasaran dengan kapasitas bermacam-macam.



Gambar 4.3 Model evaporator yang ada di pasaran

3. Pipa Baja

Pipa baja dengan dinding tipis juga banyak sekali dipergunakan pada pekerjaan refrigerasi dan tata udara. Ukurannya secara praktis sama dengan ukuran pipa tembaga. Penyambungan pipa dapat dilakukan dengan menggunakan flare joint dan brazing. Pipa tembaga dan pipa kuningan tidak boleh digunakan pada sistem dengan refrigeran R-717 (amonia). Untuk keperluan ini hanya dapat digunakan pipa baja. Kecenderungan terjadi reaksi kimia (korosi) lebih besar antara pipa tembaga dan amonia.

Adapun ukuran-ukuran pipa baja yang ada di pasaran adalah sebagaimana tertera pada table berikut :

Tabel 4.3 Ukuran pipa Baja

Diameter luar							
Pecahan	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	11/4
Decimal	0,25	0,375	0,500	0,625	0,750	1,0	1,25
mm	6,35	9,52	12,7	15,87	19,05	25,4	31,75

Pipa Baja Stainless

Pipa Baja stainless pada umumnya mempunyai fungsi yang sama dengan pipa refrigeran lainnya, dimana pipa baja stainless ini sangat kuat terhadap korosi dan sangat mudah dalam melakukan penyambungannya, dimana bisa menggunakan brasing maupun menggunakan ulir.

Pipa baja stainless No.304 sering sekali digunakan pada mesin pendingin untuk Food Processing, Manufacture Ice Cream, Milk Cool Storage dan yang lainnya, karena pipa baja stainless ini mempunyai kadar karbon (C), Nickel (Ni), dan Chronium (Cr) yang sangat rendah sekali.

4. Pipa Fleksibel

Getaran-getaran yang diakibatkan oleh bekerjanya kompresor dapat mengakibatkan kerusakan pada sambungan pipa, khususnya sambungan pipa ke kompresor. Untuk mengatasi hal tersebut maka pada bagian tersebut perlu dipasang pipa fleksibel yang dapat meredam getaran.



Gambar 4.4 Pipa Fleksibel

Bahan konstruksi dari pipa fleksibel terbuat dari selang perunggu fleksibel yang dilapisi dengan anyaman pita rambut perunggu dan disambungkan dengan pipa tembaga sebagai ujung-ujungnya. Pipa fleksibel ini dapat digunakan pada mesin pendingin yang menggunakan bahan refrigerant R12, R13, R22, R24, R114, R502 atau yang sejenisnya kecuali untuk NH_3 (*Amoniak*). Pipa fleksibel ini di desain untuk

nominal tekanan 25 atg, dan temperature pada kisaran -70^{0}C sampai dengan + 200^{0}C. Ukuran pipa fleksibel yang ada dipasaran bermacam-macam seperti yang tertera pada tabel 4.3

Pipa kapiler (Capilary tube)

Juga disebut : *Impedance tube, Restrictor tube atau choke tube*.

Pipa kapiler dibuat dari pipa tembaga dengan lubang dalam yang sangat kecil. Panjang dan lubang pipa kapiler dapat mengontrol jumlah bahan pendingin yang mengalir ke evaporator.

Pipa kapiler memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Menurunkan tekanan refrigerant cair yang mengalir di dalamnya
2. Mengatur jumlah refrigerant cair yang mengalir melaluinya
3. Membangkitkan tekanan bahan pendingin di kondensor

Table 4.5 Daftar pemakaian pipa kapiler

			Untuk dipakai pada suhu:		
D.K.	Bahan pendingin	Kondensor*	Rendah −23 s/d −15^{o}C I.D. x meter	Sedang −15 s/d −6.5^{o}C I.D. x meter	Tinggi −6.7 s/d +1.7^{o}C I.D. x meter
1/20	R−12	S−F	0.026 x 4.88	0.026 x 3.05	
1/12	R−12	S−F	0.026 x 3.62	0.031 x 3.62	
1/9	R−12	S	0.026 x 3.62	0.031 x 3.62	
1/9	R−12	F	0.026 x 3.05	0.031 x 3.05	
1/8	R−12	S−F	0.026 x 3.05	0.031 x 3.05	
1/6	R−12	S	0.031 x 3.62	0.036 x 3.62	
1/6	R−12	F	0.031 x 3.05	0.036 x 3.05	0.036 x 2.44
1/5	R−12	S	0.031 x 3.05	0.036 x 3.05	
1/5	R−12	F	0.031 x 2.44	0.036 x 2.44	0.044 x 2.29
1/4	R−22	S	0.036 x 3.62		
1/4	R−12	F	0.036 x 3.05	0.044 x 4.57	0.044 x 2.59
1/3	R−22	F	0.036 x 3.05	0.044 x 4.57	
1/3	R−12	F	0.044 x 3.77	0.050 x 3.96	0.050 x 3.36
1/2	R−22	F	0.044 x 4.57	0.044 x 2.74	
1/2	R−12	F	0.055 x 3.36	0.055 x 2.74	0.055 x 2.29
3/4	R−22	F	0.055 x 3.36	0.055 x 2.74	
3/4	R−12	F	0.055 x 2.29	0.070 x 3.62	0.080 x 3.05
1	R−22	F	0.064 x 3.05	0.070 x 3.62	
1	R−12	F	0.070 x 3.05	2(0.055 x 3.36)	2(0.055 x 2.29)
1½	R−22	F		2(0.055 x 2.29)	2(0.064 x 2.44)

Keterangan:
* S – Statis F- Fan
S – Statis untuk kondensor tanpa fan motor, dan
F – Fan untuk kondensor yang memakai fan motor

Pipa kapiler terdiri dari berbagai macam ukuran. Yang diukur bagian diameter dalam (*inside diameter*/ID) dari pipa, lain halnya dengan pipa tembaga yang diukur adalah diameter luar (*Outside diameter*/OD)

Jika kita tidak mempunyai ukuran panjang dan ID pipa kapiler yang tepat untuk lemari es yang hendak diperbaiki, kita dapat memakai Daftar pemakaian pipa kapiler pada tabel 4.5

Pipa kapiler tidak boleh dibengkok terlalu tajam, karena dapat menyebabkan tersumbatnya lubang pipa. Pipa kapiler menghubungkan saringan (*filter dryer*) dan evaporator, merupakan batas antara sisi tekanan tinggi dan tekanan rendah dari system. Pada bagian tengahnya sepanjang mungkin dilekatkan dengan saluran hisap dan disolder. Bagian yang disolder ini dinamakan Penukar Kalor (*heat Exchanger*).

Semua ukuran ID (*Inside Diameter*) x panjang pipa kapiler di atas, hanya dipakai sebagai perkiraan saja, apabila kita tidak mengetahui ukuran dan panjang pipa kapiler yang harus dipakai. Pada pelaksanaannya dapat diadakan perubahan, untuk disesuaikan dengan keperluannya.

Panjang dan ID dari setiap pipa kapiler di atas dapat diubah dan disesuaikan dengan ID pipa kapiler yang telah kita miliki, dengan memakai Daftar Perbandingan Panjang Pipa Kapiler pada tabel 4.6

Cara pembacaan tabel 4.6 :

1. Letakan ukuran ID (inside Diameter) pipa kapiler yang telah dikatahui pada lajur paling kiri
2. Tarik garis mendatar ke kanan sampai memotong lajur ukuran ID pipa kapiler di atas yang hendak kita pakai. Kita mendapatkan factor pengali. Pilihlah beberapa factor pengali yang berada dalam kurung.
3. Kalikan panjang pipa kapiler baru yang diketahui dengan factor yang diperoleh pada langkah 2. Untuk lemari es pilihlah lemari es dengan panjang minimum 1,5 meter dan maksimum 4,5 meter.

4. Hasilnya kita mendapatkan pipa kapiler dengan ID yang baru dan panjang yang tertentu, dengan tahanan dan sifat yang sama dengan pipa kapiler sebelumnya.

Tabel 14.6 Daftar perbandingan panjang pipa kapiler

Tube ID	.026 ID	.031 ID	.036 ID	.042 ID	.044 ID	.050 ID	.055 ID	.064 ID	.070 ID
.024	1.44								
.025	1.20								
.026	1.00	2.24							
.028	.72	1.59							
.030	.52	1.16							
.031	.45	1.00	2.00						
.032		.86	1.75						
.033		.75	1.54						
.034		.65	1.35						
.035		.58	1.16	2.31					
.036		.50	1.00	2.10					
.037		.45	.90	1.79	2.22				
.038		.39	.80	1.59	1.92				
.039		.35	.71	1.41	1.75				
.040		.31	.62	1.25	1.55				
.041		.28	.56	1.12	1.38	2.50			
.042		.25	.50	1.00	1.24	2.23			
.043		.23	.45	.87	1.11	1.98			
.044		.20	.39	.81	1.00	1.79			
.045			.35	.73	.90	1.60			
.046			.32	.67	.82	1.47	2.27		
.047				.59	.74	1.31	2.06		
.048				.54	.67	1.20	1.87		
.049				.49	.61	1.09	1.69		
.050				.45	.56	1.00	1.56		
.051				.41	.51	.93	1.44		
.052					.47	.85	1.32		
.053					.43	.78	1.20		
.054					.39	.70	1.09	2.18	
.055					.36	.64	1.00	2.00	
.056						.60	.94	1.85	
.057						.55	.87	1.72	
.058						.51	.80	1.56	
.059						.47	.73	1.44	2.18
.060						.43	.67	1.33	2.04
.064						.32	.50	1.00	1.50
.070							.33	.67	1.00
.075								.48	.73
.080									.54
.085									
.090									
.095									
.100									
.105									

Contoh 4.1

Lemari es dengan kompresor 1/6 PK, kondensor statis, direncanakan untuk dipakai pada suhu rendah -20^{0}C. Berapa ukuran pipa kapiler yang diperlukan?

Dengan melihat ***tabel 1.5*** (*Daftar pemakaian pipa kapiler*), kompresor 1/6 PK dengan kondensor statis untuk suhu evaporator – 20^{0}C, harus memakai pipa kapiler 0.031 ID dengan panjang 3.62 meter.

Contoh 4.2

Pipa kapiler 0.040 ID panjang 3 meter, hendak ditukar dengan pipa kapiler lain ID yang dapat memberikan karakteristik yang sama.

Dengan melihat ***tabel 1.6*** (*Daftar perbandingan panjang pipa kapiler*), pada lajur paring kiri dari 0.040 tarik garis mendatar ke kanan, akan mendapatkan beberapa factor :

- Di bawah 0.036 ID didapat factor 0.62
- Di bawah 0.042 ID didapat factor 1.25

Kalikan panjang pipa kapiler yang telah diketahui *3 meter* dengan factor yang diperoleh.

Dengan pipa kapiler 0.036 ID – 0.62 x 3 m = 1.86 meter

Pipa kapiler pengganti (0.036 ID, panjang 1.86 m) dapat memberikan tahanan yang sama seperti kapiler 0.040 ID panjang 3 meter.

5. Soldering dan Flarring Fitting

Soldering fitting adalah accessories pemipaan yang berguna untuk membantu melakukan sambungan dan pencabangan dengan cara pengelasan.

Beberapa jenis soldering fitting yang sering digunakan adalah :

Socket (coupling)

Socket adalah salah satu jenis accessories pemipaan, dimana fungsi dari socket ini adalah untuk membantu melakukan penyambungan 2 buah pipa yang berdiameter sama. Ukuran socket mengikuti ukuran pipa tembaga lunak tetapi dinyatakan dengan ukuran diamter dalam atau ID.



Gambar 4.5 Tipikal Soldering Fitting

Reducing Socket

Reducing socket adalah salah satu jenis accesoris pemipaan, dimana fungsi dari reducing socket ini untuk membantu melakukan penyambungan 2 (dua) buah pipa yang diameternya berbeda. Ukuran reducing socket sama seperti ukuran pipa tembaga.

Bengkokan pipa (Elbows)

Di pasaran elbow tersedia dengan berbagai jenis, diantaranya ada elbow 45^0, 90^0, dan ada pula yang radius bengkokannya 180^0.

Socket Cabang T

Untuk membuat pencabangan pipa saluran mesin pendingin baik itu untuk menempatkan alat ukur tekanan rendah maupun tekanan tinggi atau pemasangan pentil atau komponen lainnya, maka disini diperlukan suatu alat accessories yang disebut dengan socket cabang T.

Flare Fitting

Flare fitting adalah salah satu accessories pemipaan yang berfungsi untuk membantu melakukan penyambungan pipa yang tidak permanent, baik itu sambungan pipa dengan pipa, maupun pipa dengan komponen yang lainnya seperti halnya dengan filter dryer, sight glases, solenoid, atau stop kran.

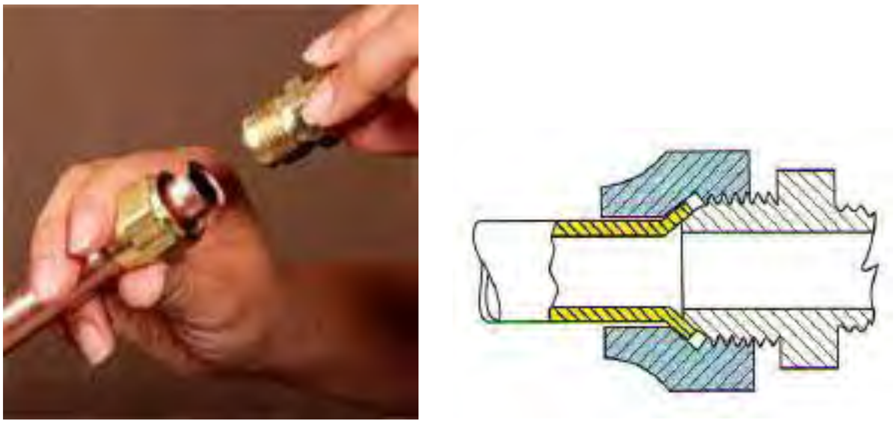
Perbedaan flare fitting dan soldering fitting adalah terletak pada proses pengerjaannya saja, dimana soldering fitting proses pengerjaannya dengan alat Bantu las (brasing) sedang flare fitting tanpa pengelasan.



.

Gambar 4.6 Jenis- jenis Flare fitting

Flare nuts adalah salah atu accessories pemipaan yang merupakan pasangan dari double flare fitting dan mempunyai bentuk menyerupai Mur (Nuts), dimana fungsinya sama seperti flare fitting.

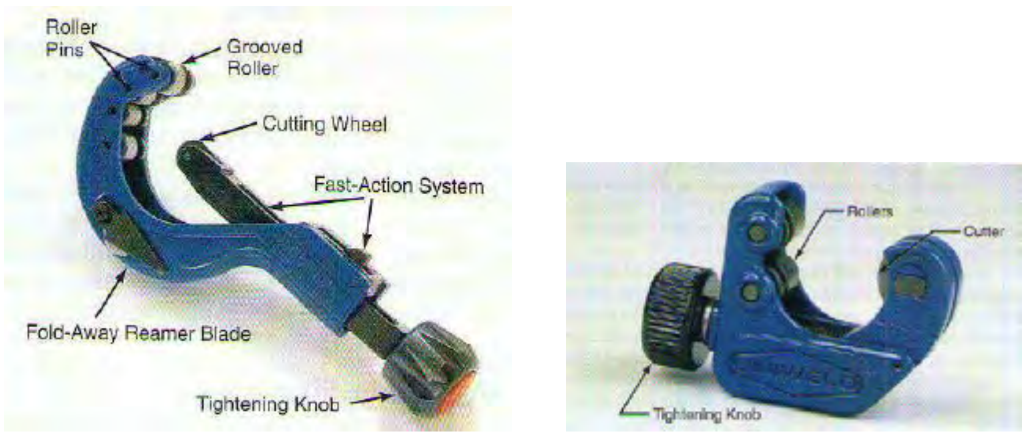


Gambar 4.7 Prinsip Penyambungan Pipa dengan Flare fitting

6. Peralatan Kerja Pipa

Pemotong pipa *(tubing cutter)*

Alat pemotong pipa ada 2 macam yaitu tubing cutter dan gergaji (hacksaw). Yang perlu diperhatikan pada saat memotong pipa adalah jangan sampai kotoran-kotoran masuk dalam system waktu memotong pipa. Untuk memotong pipa dengan tubing cutter, pipa dimasukan antara *roller* dan *cutting whell*. Tightening knob berfungsi untuk menyesuaikan dengan diameter pipa yang dipotong.

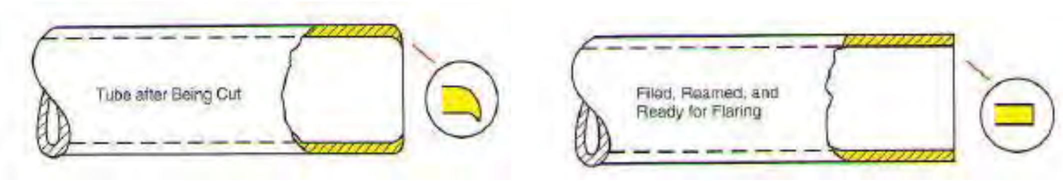


Gambar 4.8 Tubing Cutter

Bila roda pemotong ditukar dengan roda penekan yang tumpul, maka fungsi tubing cutter akan berubah menjadi memperkecil ujung diameter pipa, sehingga dapat disambung dengan pipa yang lebih kecil.

Reamer dan Deburrer

Pipa tembaga setelah dipotong ujungnya tidak rata pada bagian dalam maupun bagian luarnya. Harus diratakan dengan *reamer*.



Gambar 4.9 Ujung Pipa yang Dipotong

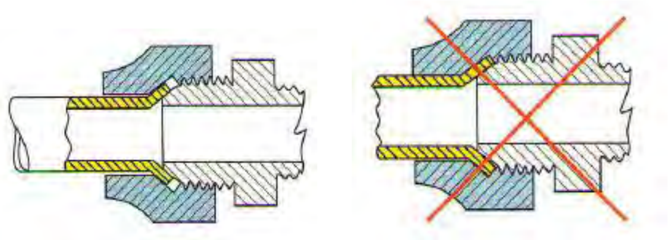
Pengerjaan membersihkan ujung pipa setelah dipotong sangat penting sebelum pipa dikembangkan (*flare)* atau dibesarkan (*swage*). Pisau pada reamer dan deburrer dibuat dari baja yang dikeraskan. Dipakai untuk meratakan ujung pipa yang telah dipotong. Dapat untuk meratakan ujung pipa dari 3/16 s.d. 1.1/2 —pada bagian dalam dan bagian luarnya. Pemotong pipa ada juga yang dilengkapi dengan pisau reamer (*reamer blade*) dan kikir.



Gambar 4.10 Reamer (A), deburrer (B)

Flaring Tool

Alat ini berfungsi untuk mengembangkan diameter ujung pipa agar dapat disambungkan dengan sambungan berulir (*flare fitting*).



Gambar 1.11 Reamer (A), deburrer (B)

Flaring tooll terdiri dari 2 buah block yang disatukan dengan baut dan mur kupu-kupu (*wing nut*). Kedua penjepit ini diberi lubang dari beberapa ukuran pipa 3/16" s.d. 5/8". Sebuah joke ujungnya bercabang dapat diselipkan pada penjepit tersebut. Pada bagian atas joke mempunyai sebuah baut yang panjang. Pada bagian atas baut diberi batang pemutar dan pada bagian bawah diberi sebuah *flare cone* (spinner). Flare cone tersebut berbentuk kerucut dengan sudut 45^{o} untuk menekan dan mengembangkan ujung pipa.



Gambar 4.12 Flaring Tool



Gambar 4.13 Cara menggunakan Flaring Tool

Swaging Tool

Untuk membesarkan ujung pipa, agar dua buah pipa yang sama diameternya dapat disambung dengan solder timah atau las perak. Panjang sambungan untuk tiap pipa berbeda, pada umumnya diambil sepanjang diameter dari pipa yang akan disambung.

Swagging tool ada 2 macam :

1. Model dipukul (*Punch type*)
2. Model diputar (*Screw type*)

Pemakaiannya hampir sama dengan flaring tool. Di sini *flare cone* ditukar dengan *swaging punch* (swaging dies atau swage adaptor).



Gambar 4.14 (a) Screw Type Swaging Tool, (b) Punch Type Swaging Tool

Pembengkok pipa (*Tube Bender*)

Untuk membengkok pipa tembaga lunak. Pipa 3/16” dan ¼” dapat dibengkok dengan tangan tanpa memakai alat, tetapi dengan mempergunakan alat pembengkok pipa akan diperoleh hasil bengkokan yang tepat dan rapi. Alat pembengkok pipa juga dapat menghindarkan pipa menjadi gepeng dan rusak.

Alat pembengkok pipa ada 2 macam :

1. Dengan rol dan tuas (Lever type tube bender)
2. Dengan pegas (Spring type tube bender)

Pembengkok pipa dengan rol dan tuas

Alat pembengkok type ini dapat membuat bengkokan pipa dengan radius tertentu sesuai dengan diameter dari rol, dapat membengkok pipa tepat pada tempatnya dan dapat membuat sudut bengkokan dengan akurat dengan hasil bengkokan sangat baik. Dapat membengkokan pipa dari 0 – 180^0.

Alat pembengkok pipa pada gambar 4.8 A hanya dapat membengkok satu macam ukuran pipa saja, sedangkan alat pembengkok pipa kecil pada gambar 4.9 memiliki 3 atau 4 rol yang disatukan. Dapat untuk membengkok pipa untuk berbagai ukuran diameter pipa, untuk pipa 3/16”,1/4”,5/16” dan 3/8”.



Gambar 4.15 Lever type Tube Bender

Pembengkok pipa dengan pegas

Pembengkok pipa tersebut ada 2 macam : Lilitan pegas di luar (*Outside spring*) dan lilitan pegas di dalam (*Inside spring*). Yang pertama pipa dimasukan ke dalam pegas dan untuk yang kedua pegas dimasukan ke dalam pipa. *Inside spring* hanya dapat dipakai untuk membengkokan ujung pipa, sedangkan *Outside spring* dapat dipakai untuk membengkokan semua bagian dari pipa.



Gambar 14.16 Lever type bender (A), Spring type bender (B)

Alat Pembuntu pipa (Pinch-Off tool)

Alat ini dipakai untuk membuntukan ujung pipa. Pembuntu pipa dibuat oleh beberapa pabrik dengan bermacam-macam model, bentuk, dan sifat.



Gambar 4.17 Pinch-Off tool

Yang pertama berbentuk seperti tang penjepit yang berbentuk setengah bulatan memanjang. Sangat praktis dan mudah dipakai untuk membuntukan pipa kapiler dan pipa tembaga sampai ½”. Setelah pipa dijepit sampai tidak bocor, pembuntu pipa tersebut akan terus menjepit dan melekat pada pipa. Setelah pekerjaan selesai, barulah vise-grip tersebut dilepas dari pipa. Yang kedua bentuknya lebih spsesifik. Direncanakan untuk membuntukan sementara, setelah itu pipa dapat dibulatkan kembali. Pipa dijepit seperti pada flaring tool. Alat tersebut juga dilengkapi lubang-lubang untuk membuka dan membulatkan kembali pipa yang gepeng. Dapat dipakai untuk pipa ukuran : ¼”, 5/16”, 3/8”, dan ½”.

Dental Mirror

Dental mirror biasanya digunakan oleh dokter gigi, berguna untuk melihat dan memeriksa bagian-bagian yang terlindung atau sukar dilihat, demikian halnya pada pemeriksaan bagian-bagian komponen mesin pendingin. Untuk memeriksa hasil pengelasan atau mencari kebocoran pada tempat yang sukar dilihat. Alat ini ada yang dilengkapi lampu battery sehingga bisa memeriksa bagian yang gelap.



Gambar 14.18 Dental mirror

Tubing Piercing Valve (Line Tap Valve)

Alat ini berfungsi untuk membuat lubang saluran pada pipa. Alat ini dipasang pada pipa dengan mur dan dilengkapi lubang yang dipakai untuk membuat lubang ke pipa. Lubang ini berguna untuk pengisian, pemeriksaan, dan pembersihan system pendingin.







Gambar 4.19 Piercing Valve

Kompor (Torch) atau Brander

Perlengkapan ini berfungsi untuk membakar (memanaskan) pada saat melepas atau menyambung sambungan pipa dengan solder timah atau las perak. Brander atau kompor tersebut ada yang memakai bahan bakar dari : elpiji, minyak tanah, juga ada yang memakai oksigen dengan karbit (acetylene) atau gas elpiji.





Gambar 4.20 Brander

Kunci –kunci

Fungsinya untuk melepas atau mengeraskan mur, baut dan lain-lain. Untuk mereparasi system komersial biasanya menggunakan kunci inggris (*adjustable wrench)* dan *rachet wrench.*



Gambar 4.21 Kunci Pas dan Kunci ring

Mengerjakan Pemipaan Refrigerasi

Dalam pekerjaan pemipaan seorang teknisi selain diharuskan memiliki peralatan yang lengkap juga harus memiliki skill dan menguasai teknik pemipaan, dari mulai memotong pipa, membengkok, menyambung, hingga ke perakitan system. Karena mesin pendingin kalu kita amati secara langsung terdiri dari susunan pipa-pipa yang menghubungkan komponen mesin pendingin.

Seperti telah diterangkan dalam bahan sebelumnya, bahwa mesin pendingin kalau kita lihat secara langsung, maka yang kita lihat hanya merupakan susunan atau instalasi pipa-pipa yang menghubungkan setiap komponen mesin pendingin. Sudah barang tentu di dalam penginstalasian pipa-pipa tersebut seorang teknisi dihadapkan ke berbagai permasalahan, seperti halnya :

- Bagaimana cara memotong pipa yang baik dan benar ?
- Bagaimana cara membengkok pipa ?
- Bagaimana cara menyambung pipa

Untuk menjawab permasalahan tersebut di atas, maka pada bagian ini akan dibahas mengenai cara-cara atau teknik pengerjaan pipa.

7. Kerja Pemipaan Refrigerasi

Memotong pipa

Karena di dalam pekerjaan yang kita hadapi adalah pipa-pipa yang lunak, maka dalam mengerjakannya harus ekstra hati-hati. Untuk mendapatkan hasil potongan pipa yang baik, kita harus menggunakan alat yang sesuai, dalam hal ini alat pemotong pipa khusus yaitu *tubing cutter*.

Prosedur Pemotongan Pipa

1. Luruskanlah pipa yang masih dalam bentuk rol/gulungan dengan hati-hati, jangan sampai bengkok.



Gambar 4.22 Cara meluruskan pipa

2. Ukurlah panjang pipa yang akan dipotong dan beri tanda yang jelas.
3. Letakan pipa yang akan dipotong tersebut pada rol beralur yang ada pada tubing cutter seperti pada gambar 4.22, putarlah knob pengatur tekanan pisau sehingga pisau pemotong menyentuh pipa dan tepat pada tanda ukuran yang telah dibuat.



Gambar 4.22 cara menempatkan pipa pada rol

4. Putarlah pemotong pipa ini secara mengelilingi pipa sampai putaran terasa ringan, setelah itu putarlah knob pengatur tekanan pisau ¼ atau ½ putaran seperti diperlihatkan pada gambar 4.22.

5. Ulangi langkah 4 tadi sampai pipa tadi selesai dipotong, setelah pipa terpotong selanjutnya bersihkanlah kedua ujung pipa tadi dari serbuk-serbuk pipa atau permukaannya tidak rata atau tajam dengan menggunakan reamer.

Membengkok Pipa

Untuk mendapatkan efek bengkokan, dapat digunakan dua cara yaitu menggunakan elbow atau dengan cara membengkokkan pipa. Seperti telah kalian ketahui, alat pembengkok yang ada di pasaran ada dua, yaitu (1) type bending spring, dan (2) type lever bender.

Bending spring (pembengkok pipa spiral)

Bending spring ini adalah alat pembengkok pipa yang konvensional, dimana hasil bengkokannya tidak dapat serapih mungkin dibanding dengan pembengkok type lever bender.



Gambar 4.23 Pembengkok dengan pipa spiral

Pembengkok pipa type ini banyak dijual dipasaran dengan bermacam-macam ukuran, disesuaikan dengan ukuran pipa yang ada. Diameter luar dan diameter dalam dari pembengkok pipa type spiral ini dapat dipergunakan untuk membengkokan 2 (dua) macam ukuran pipa yang berdiameter tertentu, sebagai contoh :

Pembengkok pipa spiral untuk ukuran diameter pipa ¼” dapat juga digunakan untuk membengkok pipa yang berukuran ½”. Caranya adalah kalau pipa yang dibengkokan berukuran ¼” maka pipa yang akan dibengkok dimasukan ke dalam pembengkoknya, tetapi jika pipa yang akan dibengkokan berukuran ½” maka

pembengkoknya dimasukan ke dalam lubang pipanya. Dan biasanya pembengkok pipa spiral ini digunakan hanya untuk membuat bengkokan yang dekat dengan ujung pipa yang dibuat flaring.

Adapun langkah-langkah pembuatannya adalah sebagai berikut :

1. Berilah tanda ukuran pipa yang akan dibengkokan
2. Masukan pipa yang akan dibengkokan ke lubang pembengkok spiral
3. Letakan pembengkok spiral itu, sehingga tengah-tengah pembengkok itu kira-kira berada pada tanda ukuran pipa yang akan dibengkokan
4. Peganglah kedua ujung pembengkok itu seperti gambar di atas
5. Lakukanlah penekanan secara perlahan-lahan kearah bagian dalam, sampai membentuk bengkokan yang diharapkan. Dengan catatan radius bengkokan tidak boleh kurang dari 5 kali diameter pipa
6. Perbaikilah hasil bengkokan itu dengan cara memijit-mijitnya dengan ibu jari secara perlahan
7. Jika pekerjaan pembengkokan pipa telah selesai cabutlah pembengkok spiralnya.



Gambar 4.24 Membengkok pipa

Lever Bender

Pembengkok pipa type ini adalah alat pembengkok pipa yang akurat, dimana pembengkok ini dapat membengkokan pipa dengan radius bengkokan yang relative kecil dan membuat sudut bengkokan sesuai dengan yang diharapkan, karena

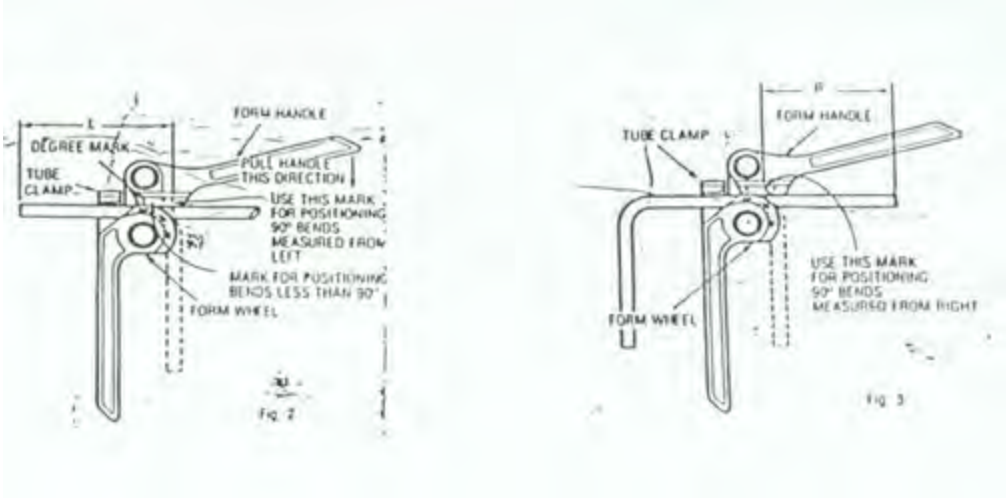
dilengkapi dengan ukuran sudut bengkokan. Dengan demikian hasil bengkokan akan lebih baik dan rapi

Pembengkok pipa type ini banyak sekali jenisnya, diantaranya ada yang bentuk single dan triple, seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini :

Pembengkok pipa ini dapat digunakan untuk membengkokan pipa tembaga, alluminium, baja dan baja stainless.

Prosedur menggunakan alat lever bender :

1. Berilah tanda ukuran pipa yang akan dibengkokan
2. Pilihlah pembengkok pipa yang sesuai dengan ukuran pipa yang akan dibengkokan
3. Letakan pipa yang akan dibengkokan pada alur yang telah tersedia pada pembengkok pipa, seperti gambar berikut :
4. turlah posisi pipa sehingga tanda tadi benar-benar tepat pada tanda penyidik (skala), dimana jika ukuran yang ditentukan anda tempatkan di sebelah kiri maka tanda ukuran tadi harus anda tempatkan tepat garis bertanda **L** pada handle pembengkok tersebut, jika sebaliknya maka ukuran tadi harus anda tempatkan tepat tanda garis **R** pada handle pembengkok atau seperti diperlihatkan pada gambar berikut :



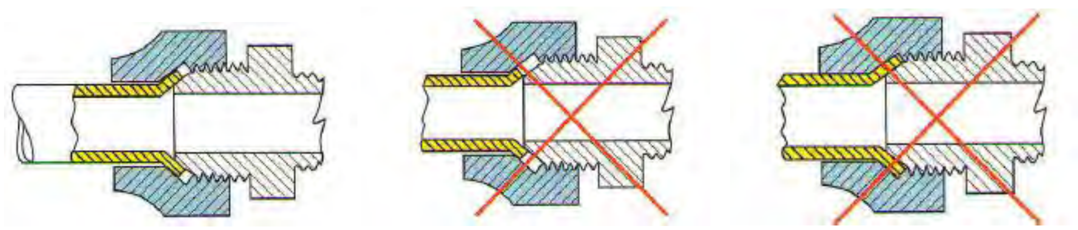
Gambar 4.24 ukuran panjang pipa pada skala handle

5. Putarlah handle pembengkok secara perlahan-lahan sambil memperhatikan skala tanda sudut bengkokan

6. Jika skala tanda sudut bengkokan telah mencapai sudut bengkokan yang diminta, maka berhentilah menekan handle, lalu dengan perlahan angkatlah handle tadi.
7. Ambilah pipa yang telah dibengkokan tadi dari pembengkok pipa tersebut
8. Proses pembengkokan pipa telah selesai

Menyambung Pipa dengan Sistem Flaring

Sambungan dengan system flaring adalah salah satu cara system penyambungan pipa dengan system penjepitan bibir pipa yang telah dikembangkan dengan fitting dengan menggunakan flare nuts. Seperti halnya diperlihatkan pada gambar berikut ini



Gambar 4.25 Posisi flaring fitting Yang benar

Untuk melakukan penyambungan pipa dengan system flaring terlebih dahulu ujung pipa harus dibuat mengembang dengan menggunakan *flaring tool*.

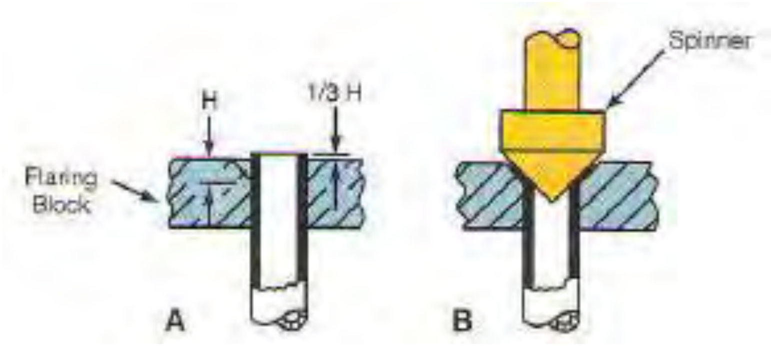


Gambar 4.26 Membuat flaring

Prosedur penggunaan flaring tool

Untuk mendapatkan hasil flaring yang baik ada beberapa langkah yang harus diikuti, sebagai berikut :

1. Masukan flare nuts terlebih dahulu pada ujung pipa yang akan diflaring, dan diperiksa kembali apakah ujung pipa yang akan di flaring sudah dibersihkan atau belum, jika belum bersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan reamer atau kikir. Seperti diperlihatkan pada gambar berikut
2. Letakan pipa pada blok penjepit. Sebelum dikerakan aturlah ujung pipa tersebut sehingga ujung pipa tadi menonjol keluar kira-kira 1/3 dari kedalaman lubang miring dari lubang blok flaring atau sekitar 3 mm di atas block, seperti gambar berikut :



Gambar 4.27 Penempatan Pipa Pada Flaring tool

3. Keraskanlah mur kupu-kupu (wing nuts) yang ada pada blok flaring, secukupnya sehingga dapat memegang pipa dengan kokoh.
4. Sebelum yoke (kaki) flaring dipasangkan di atas blok flaring terlebih dahulu berilah sedikit minyak kompresor pada kerucutnya (cone), dengan demikian akan mengurangi gesekan kerucut dengan dinding pipa, setelah itu masukan yokenya, seperti pada gambar berikut ini.
5. utarlah handle pemutar batang cone secara perlahan-lahan sampai menyentuh ujung pipa, setelah itu putarlah kira-kira ¼ atau ½ putaran lalu kendorkan lagi, lakukanlah cara tersebut berulang-ulang hingga proses pembuatan flaring selesai
6. Periksalah hasil dari pembuatan flaring tersebut, jika hasilnya kurang baik akan mengakibatkan terjadinya kebocoran pada system.

Berikut ini diberikan contoh hasil pembuatan flaring yang biasa terjadi, diperlihatkan pada gambar berikut :

Sistim Brasing dan Soldering

Penyambungan pipa dengan sistim brazing dan soldering dilakukan dengan menggunakan accessories pipa yang disebut socket atau coupling, dan dengan membuat fungsi socket sendiri melalui pekerjaan yang disebut swage dengan alat swagging tool, sebenarnya alat ini masih merupakan kesatuan dengan flaring tool hanya mengganti cone (kerucut) dengan Punch (plag).

Cara penggunaannya sama seperti flaring tool, akan tetapi yang berbeda hanya pada langkah nomor 2, dimana ujung pipa harus dikeluarkan di atas blok penjepit sekitar 1 (satu) kali diameter pipa yang akan di swagging, seperti halnya diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 4.28 Teknik swaging

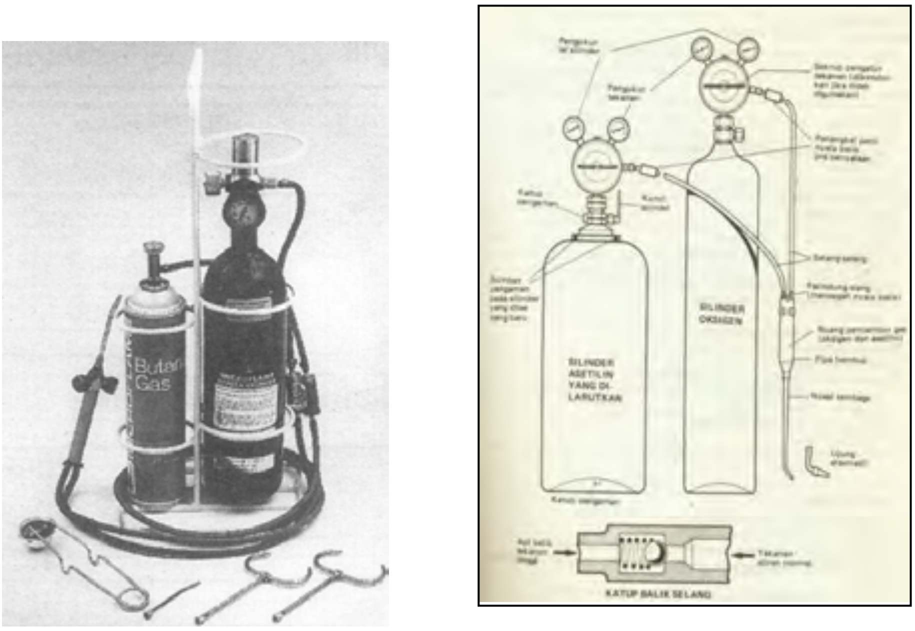
Brazing dan Soldering

Brasing dan soldering adalah penyambungan dua buah logam atau lebih, baik itu logam sejenis maupun tidak sejenis dengan menggunakan bahan tambah di mana titik cairnya jauh lebih rendah dibanding dengan titik cair logam yang akan disambung. Kalau Welding adalah penyambungan dua buah logam atau lebih baik itu logam sejenis maupun yang tidak sejenis dengan menggunakan alat pemanas yang temperaturnya sangat tinggi sehingga dapat mencairkan kedua logam tersebut dan dapat menyatukan kedua logam tersebut.



Gambar 14.39 Perlengkapan las Oksiasetilin

Perlengkapan untuk brasing maupun soldering pada dasarnya sama, hanya berbeda pada proses pengerjaannya saja, karena yang banyak dihadapi dalam pekerjaan mesin pendingin adalah pekerjaan brasing maka untuk kesempatan ini kita mencoba membahas bagaimana cara-cara melakukan proses brasing tersebut. Dimana cara penyambungan pipa dengan system brasing ini akan relatif lebih murah jika dibandingkan dengan istem flaring, terlebih jika pipa yang akan dikerjakan/disambung berdiameter di atas ¾ –, dimana untuk ukuran ini system flaring sudah tidak praktis lagi untuk digunakan.



Gambar 4.29 Perlengkapan las Oksiasetilin

Pada umumnya sumber panas yang digunakan untuk brasing maupun welding adalah sama yang berasal dari hasil pembakaran bahan campuran Oksigen – Asetilin (*Oxigen-acetylene*) yang dikemas dalam tabung yang berbeda, sebagaimana diperlihatkan pada gambar berikut :

Hal yang harus diperhatikan/dipahami adalah mengetahui fungsi-fungsi dan langkah-langkah pengoperasian dari alat-alat tersebut di atas. Perlengkapan Las oksiasetilin terdiri dari:

Silinder Asetilin

Silinder asetilin adalah tabung yang terbuat dari logam baja yang didalamnya selain berisi gas asetilin juga berisi bahan berpori seperti kapas, sutra tiruan, atau asbes yang berfungsi sebagai penyerap aseton yang merupakan bahan dimana asetilin dapat larut dengan baik dan aman dibawah pengaruh tekanan.

Botol ini dapat berisi antara 40-60 liter gas asetilin. Bentuk botol pendek gemuk. Tekanan isinya mencapai 15 kg/cm. Untuk membuka katupnya digunakan kunci sok. Baut dan mur pengikatnya menggunakan system ulir kiri. Warna botol merah

Petunjuk dalam praktek :

1. Hindarkan botol asetilin ini dari botol oksigen
2. Lindungi botol asetilin ini dari terik matahari dan panas
3. Usahakan jangan sampai jatuh atau kejatuhan benda lain
4. Hindarkan dari tempat-tempat yang berminyak
5. Pemakaian gas harus selalu melalui regulator
6. Bukalah regulatornya bila tidak digunakan
7. Jangan merubah tanda-tanda yang ada pada regulator
8. Tempatkan silinder ini berdiri tegak
9. Bila silinder asetilin tiba-tiba menjadi panas, segeralah tutup katup silindernya, kemudian siramlah dengan air sampai dingin
10. Dilarang merokok selama berdekatan dengan asetilin

Silinder oksigen

Silinder oksigen terbuat dari bahan baja. Bentuknya tinggi langsing. Mempunyai tekanan isi maksimum 150 kg/cm. Baut serta mur pengikatnya adalah ulir kanan. Botol ini berisi zat asam (O_2) sekitar 40 – 60 liter. Warna botol biru atau hitam.

Petunjuk dalam praktek :

1. Jauhkan silinder oksigen dengan silinder asetilin
2. Tutuplah katup silinder oksigen ini, buang gasnya hingga manometer tekanan kerja menunjukan angka nol, bila pengelasan telah selesai atau istirahat.
3. Ikatlah silinder oksigen ini dengan kokoh pada kereta dorong waktu dipindah-pindahkan
4. Bukalah dahulu regulatornya dari sislinder oksigen, Bila terpaksa memindahkan oksigen tanpa kereta
5. Bersihkanlah tempat kerja pada radius kurang lebih 8 meter sebelum memulai kegiatan mengelas
6. Tempatkan alat pemadam kebakaran pada tempat yang mudah dicapai.





Gambar 4.30 Regulator Silinder Gas

Regulator Silinder Sas

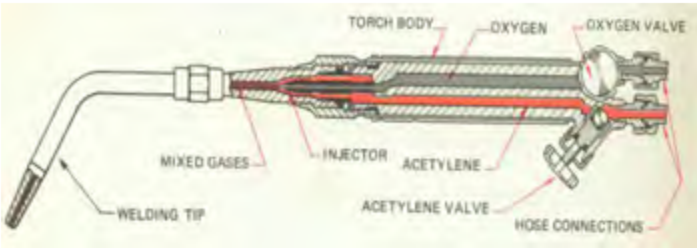
Pada silinder gas dilengkapi dengan regulator untuk mengatur tekanan kerja. Setiap set terdiri dari dua manometer, yaitu manometer tekanan isi dan manometer tekanan kerja. Tekanan isi sampai 30 kg/cm, sedang tekanan kerja sampai 3 kg/cm

Petunjuk dalam praktek :

1. Jangan memegang regulator dengan sarung tangan berminyak
2. Pegang regulator pada badannya jangan pada manometernya
3. Sebelum membuka katup silinder, tutuplah dahulu katup regulator dengan memutar baut pengatur berlawanan jarum jam hingga terasa longgar
4. Putarlah baut pengatur perlahan-lahan searah putaran jarum jam ketika mengatur tekanan kerja
5. Berdirilah di samping, jangan dimuka manometer ketika mengatur tekanan kerja
6. Apabila regulator rusak segera diganti dengan yang baik.

Brander las

Brander las adalah alat untuk mencampur gas asetilin dengan zat asam serta alat pengatur pengeluaran hasil campuran gas tersebut ke mulut brander.



Gambar 4.31 Brander Las

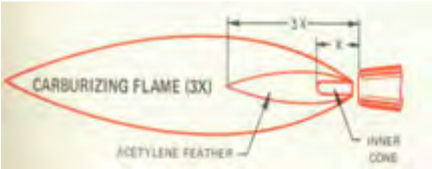
Petunjuk dalam praktek :

1. Jangan memegang pembakar dengan sarung tangan berminyak
2. mulut pembakar jangan digunakan untuk memukul-mukul atau mencungkil sesuatu
3. Bila lubang mulut tersumbat, tusuklah dengan alat penusuk khusus yang pas ukurannya
4. Untuk membersihkan bibir mulut pembakar, gosokannlah pada balok kayu yang bersih sambil katup zat asam dibuka agar tidak tersumbat
5. Matikan pembakar bila tidak dipakai
6. Jangan membiasakan menggantungkan pembakar pada silinder las

Nyala api las

Memilih atau menentukan nyala api las yang dipergunakan merupakan bagian yang penting pada pengelasan dengan asetilin. Pembakaran yang telah terjadi dapat menimbulkan nyala api yang berbeda beda bentuk dan warnanya. Pada praktek pengelasan ada 3 (tiga) jenis nyala api yang dipergunakan, yaitu :

1. Nyala karburasi



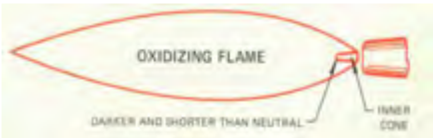
Nyala karburasi adalah nyala api las yang berlebihan asetilinnya. Nyala api ini dipergunakan pada proses pengelasan batang-batang permukaan yang keras.

2. Nyala Netral



Nyala api dimana pengaturan pengeluaran oksigen dan asetilin seimbang. Nyala api ini sering dipergunakan pada pengelasan: baja, baja tahan karat, aluminium dan tembaga.

3. Nyala oksidasi



Nyala api las yang berlebihan zat asamnya. Nyala oksidasi ini dapat terjadi dengan mengurangi pengeluaran asetilin setelah nyala netral. Nyala api ini biasa dipergunakan untuk pengelasan kuningan atau perunggu

Batang Las Perak 15 (Silver Brazing Rod 15)

Untuk keperluan brazing diperlukan bahan tambah. Salah satu jenis bahan tambah yang populer adalah batang las perak 15. Bahan tambah ini digunakan untuk penyambungan pipa tembaga dengan pipa tembaga. Kandungan peraknya hingga 15%, sehingga konduktivitas panasnya menjadi tinggi. Bahan tambah ini tidak memerlukan flux yang berfungsi membersihkan sambungan. Tidak direkomendasikan untuk penyambungan bahan dasar ferrous metal. Ukuran batang las perak adalah 1/8" x .050" x 19.5". Komposisi bahan terdiri dari 15% Silver, 5% Phosphorus, 80% Copper.



Gambar 4.33 Batang Las Perak 15

Batang Las Perak 5 (5% Silver Brazing Rod)

Bahan tambah jenis kedua adalah batang las perak 5. Bahan tambah ini digunakan untuk penyambungan pipa tembaga dengan pipa tembaga. Kandungan peraknya hingga 5%, sehingga konduktivitas panasnya kurang tinggi. Bahan tambah ini tidak memerlukan flux yang berfungsi membersihkan sambungan. Tidak direkomendasikan untuk penyambungan bahan dasar ferrous metal. Ukuran batang las perak adalah 1/8" x .050" x 19.5". Komposisinya terdiri atas 5% Silver, 6% Phosphorus, 89% Copper.

Batang Las Tembaga

Batang las tembaga berukuran 3/32" dia. x 19.5". Komposisinya terdiri atas 0% Silver, 7% Phosphorus, 93% Copper.

Tugas 4.1 Prosedur Brazing

Diskusikan bersama teman sekelompok kalian tentang prosedur brazing. Untuk membuka wawasan kalian berikut ini diberikan 12 gambar yang berkaitan dengan pelaksanaan brazing. Tugas kalian tinggal menyusun gambar-gambar tersebut secara berurutan sehingga membentuk sebuah pelaksanaan pekerjaan yang dilakukan secara prosedural. Presentasikan hasil tugas kalian dengn power point presentation.

Perakitan peralatan Las dan Pengoperasiannya

1. Simpanlah kedua tabung pada roda secara tegak lurus, dimana tabung hitam adalah tabung Oksigen dan tabung berwarna merah bata adalah tabung asetilin
2. Pasanglah ujung-ujung pipa karet/slang pada pipa hembus dan ujung yang lainnya pasangkan pada regulator. Ikatlah dengan menggunakan klem pengikat, dimana selang yang berwarna merah untuk asetilin dan selang berwarna hitam atau hijau untuk saluran oksigen.
3. Bersihkan permukaan ulir cylinder valve dan regulator yang akan disambung dari kotoran oli atau gemuk
4. Bukalah kran pada tabung oksigen sedikit saja untuk mengeluarkan kotoran yang ada pada saluran, begitu pula untuk tabung asetilin lalu tutup kembali
5. Pasanglah regulator oksigen pada tabung oksigen dengan catatan bahwa ulir sekrup regulator oksigen adalah ulir kanan
6. Pasanglah regulator asetilin pada tabung asetilin dengan catatan bahwa ulir sekrup regulator asetilin adalah ulir kiri
7. Keraskan dengan menggunakan kunci, lalu periksalah semua kran atau valve semuanya harus dalam keadaan tertutup
8. Pasanglah pipa pancar sesuai kebutuhan.
9. Bukalah kran tabung secara perlahan-lahan satu putaran saja, agar tidak merusak meter regulator, ini berlaku untuk kedua tabung tersebut, maka disini akan terlihat meter regulator menunjukan isi/volume tabung itu sendiri
10. Aturlah kran regulator asetilin maupun oksigen secara perlahan-lahan sehingga didapatkan tekanan yang sesuai dengan kebutuhan dengan melihat

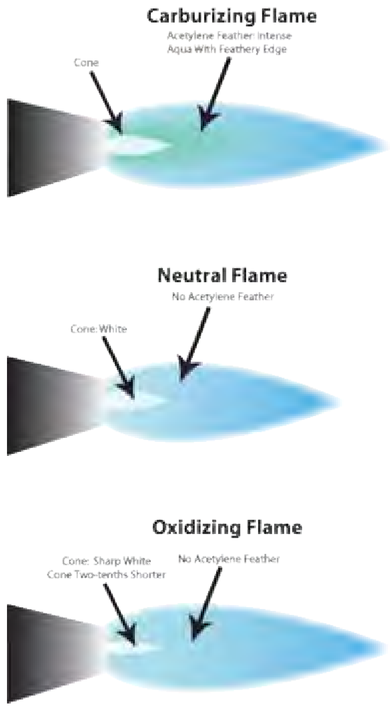
meter tekanan saluran keluar. Untuk kran regulator oksigen maupun asetilin untuk membuka saluran arah putaran kanan dan menutup arah putaran kiri.

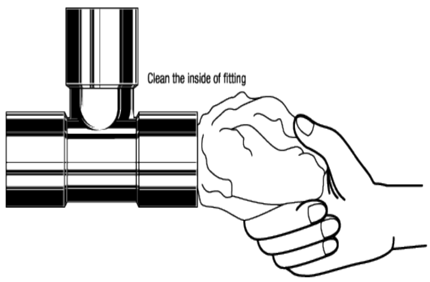
11. Bukalah kran asetilin dan oksigen yang ada pipa hembus (*blow pipe*) sedikit saja, lalu nyalakan dengan menggunakan penyulut api
12. Setelah menyala aturlah nyala apinya dengan mengatur lagi kran yang ada di pipa hembus, sehingga didapatkan nyala api yang sesuai dengan kebutuhan. Adapun bentuk nyala api yang ada pada systim pengelasan adalah ada 3 (tiga) jenis, sebagai berikut : Nyala oksidasi, Nyala Netral dan Nyala karburasi.
13. Pengelasan siap untuk dikerjakan dan jangan lupa memakai kacamata las untuk pengaman
14. Jika pengelasan telah selesai, matikanlah nyala api dengan menutup kran asetilin yang ada pada pipa hembus terlrbih dahulu setelah itu baru tutup kran oksigen
15. Tutuplah keran yang ada pada kedua tabung, lalu bukalah kran yang ada pada pipa hembus untuk mengeluarkan asetilin dan oksigen yang tersisa.
16. Tutuplah semua kran yang ada
17. Bukalah regulator dari tabungnya
18. Gulung kembali selang supaya rapih dan simpan semua peralatan pada tempatnya.

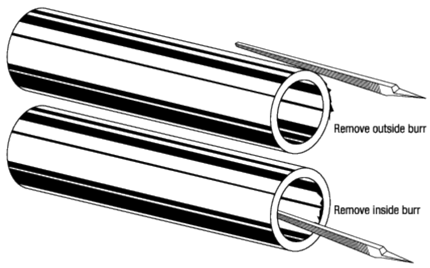
Tugas 4.2. Prosedur Brazing

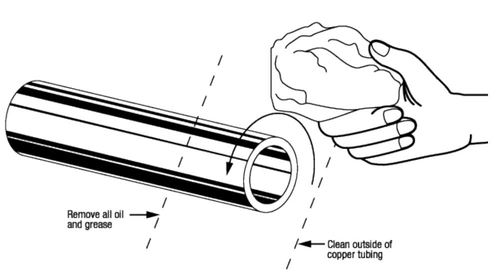
Diskusikan dengan teman sekelompok tentang prosedur silver brazing. Silver brazing merupakan salah satu cara menyambung bahan tembaga dengan tembaga. Sebagai acuannya gunakan 12 gambar yang terdapat dalam tabel berikut. Urutkan gambarnya, sehingga akan membentuk proses penyambungan pipa secara prosedural.

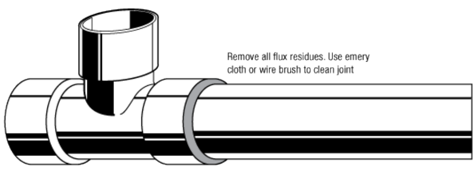


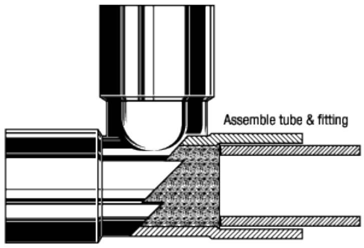


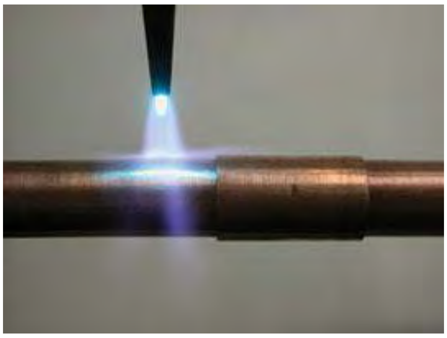






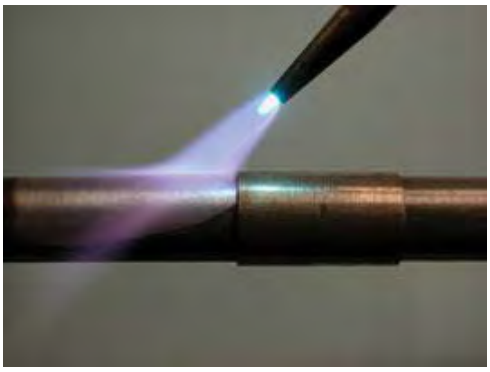



Assemble tube & fitting









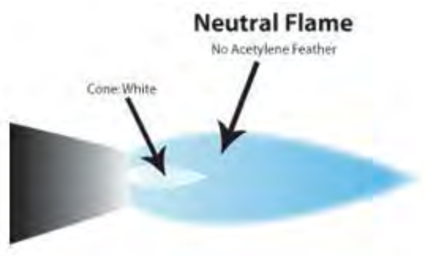


Tip Silver Brazing

Pengaturan Api Las Oxygen/Acetylene.

Brazing yang dilakukan dengan menggunakan las Oxy-Acetylin, maka pengaturan nyala api pengelasan adalah carburizing atau neutral. Pengaturan api carburizing dan netral diperlihatkan dalam gambar berikut.



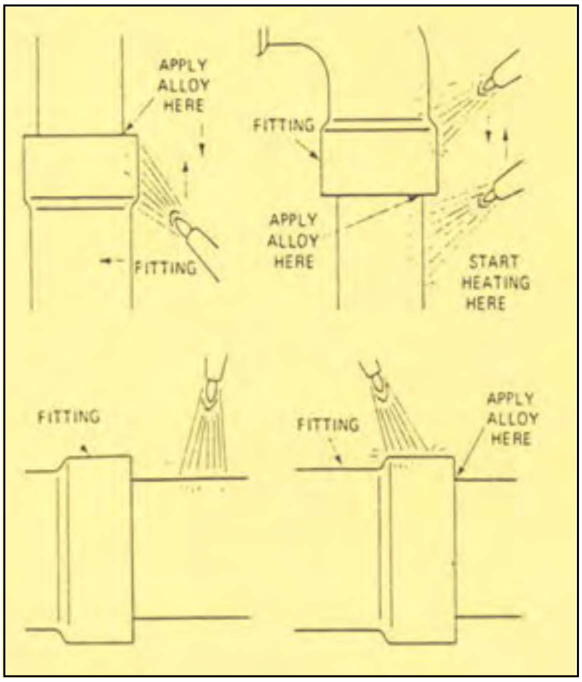


Janganlah malakukan brazing dengan pengaturan nyala api oxidizing flame. Seperti diperlihatkan dalam gambar berikut, karena acetylin yang berlebihan akan menimbulkan oksidasi pada pipa, yang ditandai dengan penghitaman pada permukaan pipa.



Gunakan batang las yang tepat. Batang las untuk keperluan brazing adalah batang las perak (silver 15). Batang las ditempelkan ke ttitik sambungan setelah suhu pipa tembaga yang akan disambung mencapai titik cair batang las. Untuk itu, lakukan dideteksi sebentar untuk memastikan apakah batang las perak sudah dapat meleleh. Gunakan batang las seperlunya jangan berlebihan, karena disamping boros juga tidak ada manfaatnya kalau menggunakannya secara berlebihan.

Bila melakukan brazing secara vertikal joint, maka panaskan terlebih dahulu pipa kemudian baru fittingnya. Jika pipa terlalu panas maka batang las tidak akan masuk ke titik sambungan.



Demikian juga jika melakukan brazing secara horizontal joint, panaskan terlebih dahulu sekeliling pipa hingga merata, kemudian baru panaskan fittingnya. Ketika akan melelehkan bahan tambahnya (batang las perak), pastikan kedua pipa dan fittingnya telah memiliki suhu yang sama. Untuk pipa besar, lebih baik pemanasan dimulai dari pipa bagian bawah.

Perhatikan, ketika melakukan brazing, lakukan dengan hati-hati dan terukur, gunakan bahan-bahan pelindung untuk melindungi bagian lain terhadap api las.

Kerja proyek 1. Membengkok Pipa

Petunjuk:

1. Rancanglah sebuah proyek untuk membengkok pipa
2. Persiapkan peralatan yang diperlukan
3. Persiapkan bahan pipa tembaga dengan ukuran ½ inchi, 3/8 inchi, dan ½ inchi.
4. Potong masing-masing ukuran pipa 20 cm.
5. Buatkan bengkokan pipa siku-siku di mana panjang bengkokan dari ujung pipa ke garis hati pipa sebesar 10 cm.
6. Lakukan untuk semua ukuran pipa yang sudah kalian sediakan
7. Laporkan hasilnya ke guru pembimbing
8. Jika ukuran salah, kalian harus mengulang kembali proyek tersebut hingga ukuran yang diminta benar

Kerja Proyek 2. Flaring

Petunjuk:

1. Rancanglah sebuah proyek untuk membuat sambungan pipa dengan flare fitting.
2. Persiapkan peralatan yang diperlukan
3. Persiapkan bahan pipa tembaga dengan ukuran ½ inchi, 3/8 inchi, dan ½ inchi, dan siapkan pula flare fittingnya untuk ketiga ukuran pipa, yang terdiri dari flare nut dan socket flare fitting.
4. Potong setiap ukuran pipa 10 cm, masing-masing 2 potongan
5. Buatlah flaring untuk setiap ukuran pipa
6. Pasangkan dengan flare fiiting yang sesuai

Kerja Proyek 3. Swaging & Bazing

Rancanglah sebuah pekerjaan penyambungan pipa yang dilakukan dengan cara silver brazing.

Petunjuk:

1. Gunakan pipa dengan berbagai ukuran, yakni: 1/4 inchi, 3/8 inchi, dan1/2 inchi.
2. Potong setiap ukuran pipa 10 cm, masing-masing 2 potongan
3. Buat swagging untuk keperluan titik sambungan pada setiap ukuran
4. Lakukan silver brazing untuk semua ukuran pipa
5. Potong menyilang pada titik sambungan untuk memeriksa apakah bahan tambah (silver 15) dapat penetrasi hingga ke dalam pipa.
6. Jika belum berhasil, lakukan terus hingga berhasil.

Kerja Proyek 4. Merancang Pemipaan

Rancanglah sebuah sirkit tertutup pemipaan refrigerasi sederhana dengan menggunakan bahan seperti yang dipersyaratkan di dalam petunjuk berikut ini.

Petunjuk

Rancanglah sebuah pemipaan refrigerasi yang melibatkan bahan-bahan pemipaan sebagai berikut:

100 cm Pipa 3/8 inc

100 cm pipa ¼ inci

1 buah Double flare fitting 3/8 inci

1 buah elbow solder fitting 3/8 inci

1 buah socket solder ¼ inci

2 buah reducer solder fitting 3/8 to ¼ inci

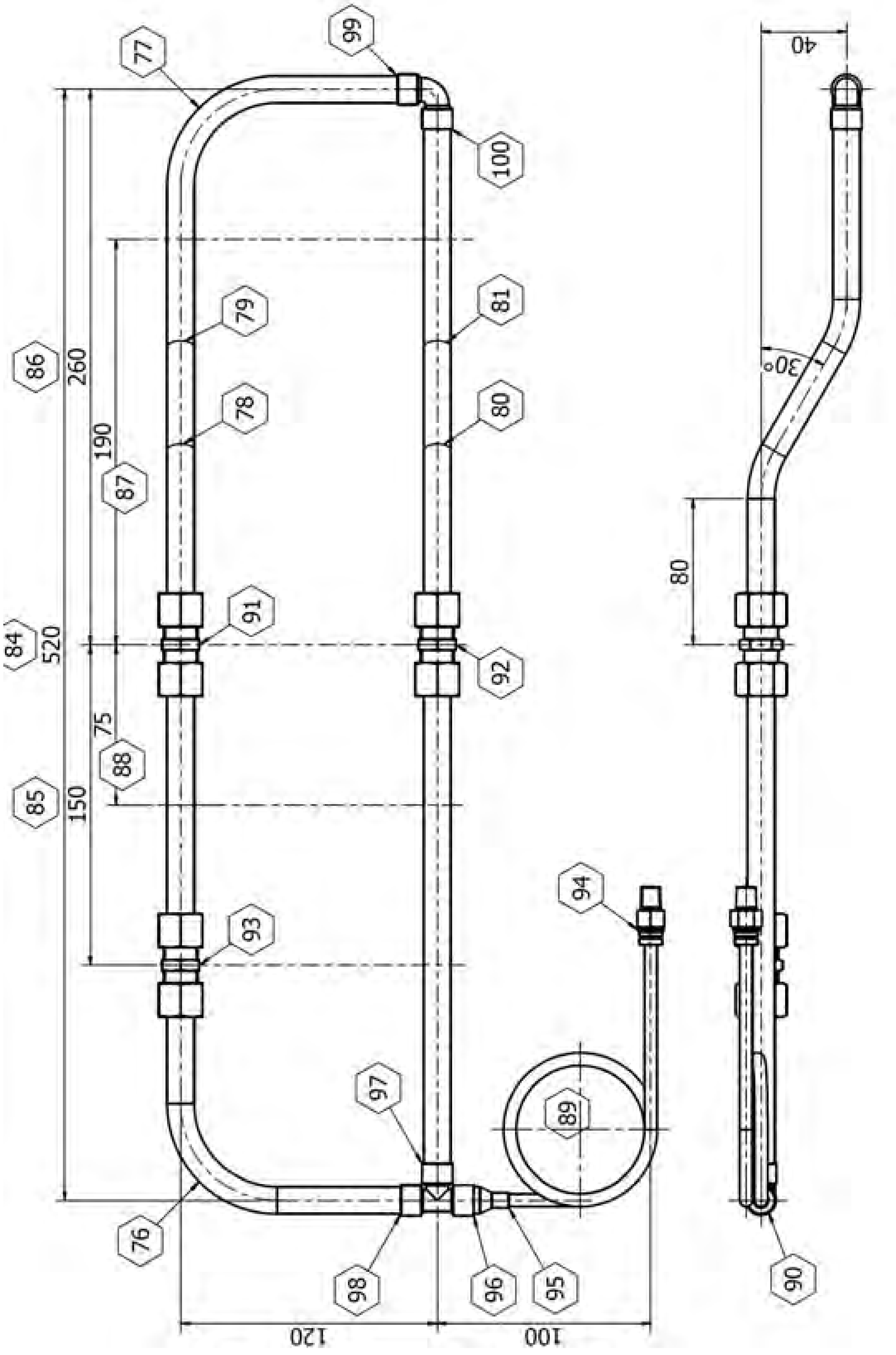
1 buah filter dryer

10 cm pipa kapiler 0.04 inci

1 buah schrader valve

1. Buat gambar rancangan pemipaannya, secara manual atau menggunakan komputer. Periksakan hasilnya kepada guru pembimbing untuk mendapatkan pengesahan dan saran perbaikan. Pemipaan harus merupakan rangkaian tertutup. Jadi tidak ada ujung pipa yang terbuka, sehingga udara luar bisa masuk ke dalam pipa.
2. Kerjakan proyek sesuai gambar rancangan. Bekerja sesuai prosedur, Selalu mengutamakan keselamatan kerja, dan jangan lupa gunakan alat pelindung diri.
3. Jika sudah selesai, isi sistem pemipaan denga nitrogen melalui schrader valve hingga mencapai tekanan 100 psi. Periksa kebocoran dengan memasukkan pipa ke bak air.
4. Sistem pemipaan yang kalian rancang tidak boleh bocor. Jika bocor kalian harus mengulang proyek 4.
5. Jika kalian berhasil pada proyek 4, lanjutkan mengerjakan proyek 5.
6. Kalau pada proyek 4, kalian bebas berekspresi sesuai imaginasi kalian, tetapi pada proyek 5, kalian harus mengikuti gambar kerja yang sudah disiapkan untuk kalian.
7. Interprestasi gambar kerja pada proyek 5 dengan benar, Jika ragu-ragu jangan malu untuk bertanya baik kepada teman atau pada guru pembimbing
8. Jika sudah yakin, persiapkan rancangan proyeknya.

Kerja Proyek 5



DAFTAR PUSTAKA

McQuiston, Parker and Spitler, Heating Ventitalting, and Air Conditioning, Analysis and Design, 2005, 6th Ed., John Wiley & Sons, Inc.

Althouse, Turnquist, Bracciano, 2003, Modern Refrigeration & Air Conditioning, Instructor Manual with answer Key, The Goodheard-Willcox Company, USA

Goliber, Paul F., 1986, Refrigeration Servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co Private L.td

Harris, 1983, Modern Air Conditioning Practice, Third Edition, Mc.Graw - Hill International Book Company

Althouse, Andrew D., 2003, Modern Refrigeration & Air Conditioning, The Goodhard-Willcox Company, USA

John Tomczyk, Troubelshooting & Servicing Modern Refrigeration & Air Conditioning System,

Dossat, Roy J., 1980, Principles of Refrigeration, Second Edition, SI Version, Jonh wiley & Son Inc., New York, USA